



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PABRIK BIOETANOL
PT. PN X AKIBAT INTEGRASI DENGAN PABRIK GULA
GEMPOLKREP PT. PN X**

Diky Tri Wahyono
NRP 2213106074

Dosen Pembimbing
Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

***PROTECTION SYSTEM COORDINATION STUDY OF
BIOETHANOL FACTORY'S PT. PN X DUE TO BE
INTEGRATED WITH GEMPOLKREP SUGAR FACTORY'S
PT. PN X***

Diky Tri Wahyono
NRP 2213106074

Advisor Lecturer
Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

**STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PABRIK
BIOETANOL PT. PN X AKIBAT INTEGRASI DENGAN PABRIK
GULA GEMPOLKREP PT. PN X**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT.
NIP. 196603181990101001

Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP. 196608111992031004



STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PABRIK BIOETANOL PT. PN X AKIBAT INTEGRASI DENGAN PABRIK GULA GEMPOLKREP PT. PN X

Nama Mahasiswa : Diky Tri Wahyono
Dosen Pembimbing : 1. Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Ir. Arif Musthofa, MT.

ABSTRAK

PT. Perkebunan Nusantara X merupakan salah satu produsen gula di Indonesia yang berkantor pusat di Surabaya. PT. PN X juga memiliki usaha bioetanol yang berada di kawasan salah satu unit usahanya yaitu di pabrik gula Gempolkrep, Mojokerto. Dimana pabrik bioetanol ditargetkan dapat memproduksi 30.000 KL bioetanol per tahunnya. Untuk menunjang produksi tersebut, sistem kelistrikan pabrik bioetanol diintegrasikan dengan sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep. Hal ini tentunya berpengaruh terhadap sistem proteksi pabrik bioetanol terutama apabila terjadi gangguan yang menyebabkan nilai arus hubung singkat menjadi lebih besar. Hasil analisa dan simulasi koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan pabrik bioetanol PT. PN X menunjukkan bahwa kondisi *existing setting* koordinasi rele arus lebih fasa masih ada beberapa kesalahan koordinasi pada *setting pickup* dan *time delay* serta peralatan pengaman (*fuse*) yang tidak dapat mengisolasi gangguan dengan tepat. Melalui tugas akhir ini, dilakukan *resetting* rele pengaman dan penggantian fungsi pengaman *fuse* menjadi rele arus lebih. Dari hasil tersebut, direkomendasikan *resetting* koordinasi yang tepat untuk sistem kelistrikan pabrik bioetanol PT. PN X.

Kata Kunci : diintegrasikan, sistem proteksi, koordinasi proteksi, *existing*, *resetting*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PROTECTION SYSTEM COORDINATION STUDY OF
BIOETHANOL FACTORY'S PT. PN X DUE TO BE
INTEGRATED WITH GEMPOLKREP SUGAR
FACTORY'S PT. PN X**

Name of Student : Diky Tri Wahyono
Advisor Lecturer : 1. Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Ir. Arif Musthofa, MT.

ABSTRACT

PT. Perkebunan Nusantara X is one of sugar producer in Indonesia which is headquartered in Surabaya. PT. PN X also has a bioethanol business in the area of one of its business units, namely Gempolkrep sugar factory, Mojokerto. Where the bioethanol factory is targeted to produce 30,000 KL of bioethanol per year. To support the production, bioethanol factory electrical system is integrated with the Gempolkrep sugar factory electrical system. This is certainly affect the bioethanol factory protection system, especially if there is a fault that causes the value of short-circuit current becomes greater. The results of the analysis and simulation of the electrical system protection coordination bioethanol factory's PT. PN X shows that the existing condition of phase overcurrent relay coordination setting there are still some coordination errors on pickup and time delay settings and safety equipment (fuse) which can not isolate a fault appropriately. Through this final project, carried resetting the safety relay and fuse replacement safety function becomes overcurrent relays. From these results, it is recommended the proper coordination resetting of the electrical system bioethanol factory's PT. PN X.

Keywords: *integrated, protection systems, coordination of protection, existing, resetting.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Laporan	3
1.7 Relevansi	4
 BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK	
2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat (<i>Short Circuit</i>)	6
2.1.2 Gangguan Beban Lebih (<i>Overload</i>)	6
2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat	7
2.2.1 Gangguan Tiga Fasa	7
2.2.2 Gangguan Dua Fasa	7
2.2.3 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah	8
2.3 Rele Pengaman	8
2.3.1 Elemen Dasar Rele Pengaman	9
2.3.2 Syarat Rele Pengaman	10
2.4 Rele Arus Lebih	11
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	11
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers	12
2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan	12

2.5	Penyetelan Rele Arus Lebih	13
2.5.1	Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers.....	14
2.5.2	Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	15
2.6	Koordinasi Rele Arus dan Waktu.....	15

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PABRIK BIOETANOL DAN PABRIK GULA GEMPOLKREP PTPN X

3.1	Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol	17
3.1.1	Sistem Pembangkitan	17
3.1.2	Sistem Distribusi	18
3.1.3	Beban.....	18
3.2	Sistem Kelistrikan Pabrik Gula Gempolkrep	19
3.1.1	Sistem Pembangkitan	19
3.1.2	Sistem Distribusi	21
3.1.3	Beban.....	21
3.3	Sistem Kelistrikan Pabrik Bietanol Integrasi Pabrik Gula Gempolkrep.....	22

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1	Permodelan Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol dan Pabrik Gula Gempolkrep PT. PN X	25
4.2	Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman Pabrik Bioetanol	25
4.3	Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat.....	26
4.3.1	Hubung Singkat Minimum 30 Cycle	27
4.3.2	Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle	28
4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	29
4.4.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1	30
4.4.1.1	<i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1a</i>	30
4.4.1.2	<i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1b</i>	38
4.4.1.3	<i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1c</i>	43
4.4.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2	49
4.4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3	56
4.4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4	63

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70

DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73
BIODATA PENULIS	85

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Koefisien Invers <i>Time Dial</i>	14
Tabel 3.1. Data Transformator Pabrik Bioetanol.....	18
Tabel 3.2. Data Pembebanan Transformator Pabrik Bioetanol	19
Tabel 3.3. Data Transformator Pabrik Gula Gempolkrep	21
Tabel 3.4. Data Pembebanan Transformator Pabrik Gula Gempolkrep	22
Tabel 4.1. Data Hubung Singkat Minimum 30 <i>Cycle</i>	27
Tabel 4.2. Data Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i>	28

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Skema Rele Pengaman	8
Gambar 2.2 Bagan Elemen Dasar Rele Pengaman.....	9
Gambar 2.3 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	11
Gambar 2.4 Karakteristik <i>Standard Inverse</i> , <i>Very Inverse</i> , dan <i>Extremely Inverse</i>	12
Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Instan	13
Gambar 2.6 Kombinasi IDMT Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan.	13
Gambar 2.7 Rele Arus Lebih Pengamanan Transformator.....	15
Gambar 3.1 Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol.....	17
Gambar 3.2 Sistem Kelistrikan Pabrik Gula Gempolkrep.....	20
Gambar 3.3 Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol Integrasi dengan Sistem Kelistrikan Pabrik Gula Gempolkrep.....	23
Gambar 4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1a.....	30
Gambar 4.2 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1a.....	31
Gambar 4.3 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1a	38
Gambar 4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1b	39
Gambar 4.4 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1b.....	39
Gambar 4.6 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1b.....	43
Gambar 4.7 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1c.....	44
Gambar 4.8 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1c.....	44
Gambar 4.9 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1c	48
Gambar 4.10 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2	49
Gambar 4.11 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 2.....	50
Gambar 4.12 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 2.....	55
Gambar 4.13 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3	56
Gambar 4.14 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 3.....	57
Gambar 4.15 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 3.....	62
Gambar 4.16 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4	63
Gambar 4.17 Kurva Koordinasi Arus Waktu Tipikal 4	66

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pabrik bioetanol PT. Perkebunan Nusantara X merupakan pabrik yang memproduksi bioetanol yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif dengan memanfaatkan bahan baku tetes dari pabrik gula Gempolkrep. Pabrik ini berlokasi di kawasan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X, Mojokerto. Pabrik bioetanol ini ditujukan sebagai diversifikasi bisnis dari PT. PN X dan ditargetkan dapat memproduksi 30.000 KL bioetanol per tahun. Untuk menunjang produksi tersebut, pabrik bioetanol di dukung dengan sistem kelistrikan dari PLN dan diintegrasikan dengan pabrik gula Gempolkrep.

Pabrik bioetanol mendapat suplai daya dari turbin alternator pabrik gula Gempolkrep pada saat masa giling tebu, sedangkan diluar masa giling kebutuhan daya disuplai dari PLN. Hal ini tentunya akan berpengaruh terhadap distribusi daya pada dua keadaan kondisi tersebut. Dimana pada saat masa giling tebu, turbin alternator 2x4,5 MW mensuplai kebutuhan daya beban pabrik gula Gempolkrep dan pabrik bioetanol. Kemudian turbin alternator dan sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep tersebut dilepas dari sistem kelistrikan pabrik bioetanol diluar masa giling dan digantikan dengan suplai daya dari PLN.

Berdasarkan dengan dua keadaan kondisi tersebut, maka diperlukan studi mengenai *setting* koordinasi rele pengaman yang tepat untuk dapat mendeteksi dan mengisolir gangguan dengan baik (selektif, sensitif, dan handal)[1] sehingga kedua pabrik dapat beroperasi secara maksimal dan memiliki kehandalan yang tinggi ketika terjadi suatu gangguan. Selain itu kontinuitas aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik juga sangat diperlukan agar suplai daya ke beban tidak terganggu, pada saat kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Oleh karena itu, penulis memilih untuk melakukan penelitian mengenai sistem koordinasi proteksi pabrik bioetanol yang terinterkoneksi dengan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X untuk mendapatkan *setting* rele pengaman yang tepat.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana *setting existing* rele pengaman pabrik bioetanol sebelum diintegrasikan dengan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X.
2. Analisa kurva karakteristik *existing* koordinasi rele pengaman pabrik bioetanol sebelum diintegrasikan dengan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X.
3. Bagaimana *resetting* rele pengaman pabrik bioetanol diintegrasikan dengan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X.
4. Analisa kurva karakteristik *resetting* koordinasi rele pengaman pabrik bioetanol diintegrasikan dengan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini meliputi:

1. Rele pengaman yang di-*setting* dan dikoordinasikan adalah rele arus lebih (*overcurrent relay*) fasa yang ada di pabrik bioetanol PT. PN X.
2. Dipilih 4 tipikal *setting* koordinasi rele pengaman sebagai perwakilan dari koordinasi rele pengaman sistem kelistrikan pabrik bioetanol PT. PN X.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mendapatkan *setting* koordinasi rele pengaman pabrik bioetanol yang diintegrasikan dengan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X. yang tepat.
2. Mengetahui perbedaan *setting* rele-rele pengaman arus lebih pabrik bioetanol sebelum dan sesudah diintegrasikan.

1.5 Metodologi

Penulisan dan penyusunan tugas akhir ini menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data
Pengambilan data dari *single line diagram* berupa spesifikasi peralatan baik itu generator, transformator, CB, dan peralatan

- lainnya yang ada di dalam sistem kelistrikan pabrik bioetanol dan pabrik gula gempolkerp PT. PN X.
2. Studi literatur
Studi literatur dilakukan untuk menunjang pemahaman dalam mengerjakan tugas akhir ini mengenai aliran daya, arus hubung singkat, rele arus lebih, dan koordinasi proteksi.
 3. Pemodelan dan Simulasi
Data sistem kelistrikan pabrik bioetanol dan pabrik gula Gempolkerp PT. PN X yang diperoleh kemudian dimodelkan dan disimulasikan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 untuk menganalisa aliran daya dan arus hubung singkat.
 4. Analisa Data
Setelah dimodelkan dan disimulasikan maka selanjutnya dianalisa *setting* dari koordinasi rele-rele pengamanan arus lebih yang terpasang pada sistem kelistrikan pabrik bioetanol PT. PN X.
 5. Kesimpulan
Setelah proses analisa data selesai dilakukan, maka dibuatkan kesimpulan dari penelitian tugas akhir dan saran terkait dengan pengerjaan tugas akhir yang dikerjakan.

1.6 Sistematika Laporan

Penyusunan tugas akhir ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Berikut adalah sistematika penyusunan laporan:

- BAB 1 : PENDAHULUAN
Pendahuluan menguraikan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan tugas akhir, sistematika pembahasan, dan relevansi.
- BAB 2 : KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK
Bab ini membahas teori-teori tentang gangguan dan pengamanan pada sistem tenaga listrik.
- BAB 3 : SISTEM KELISTRIKAN PABRIK BIOETANOL DAN PABRIK GULA GEMPOLKREP
Bab ini membahas tentang sistem kelistrikan pabrik bioetanol PT. PN X dan pabrik gula Gempolkerp PT. PN X.

BAB 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan mengenai analisa koordinasi proteksi sistem kelistrikan pabrik bioetanol PT. PN X.

BAB 5 : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai permasalahan *setting* koordinasi dari rele pengaman khususnya rele arus lebih pada sistem kelistrikan industri, sehingga peralatan pengaman dapat mendeteksi dan mengisolir gangguan akibat hubung singkat dengan tepat. Dengan metode penyelesaian permasalahan *setting* koordinasi dari rele pengaman diharapkan memperoleh hasil yang paling optimal dan kemudian dapat digunakan sebagai salah satu acuan atau masukan untuk penyelesaian kasus yang sama.

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

Sistem tenaga listrik suatu industri memiliki sistem proteksi atau sistem pengaman yang digunakan untuk mengamankan peralatan listrik lainnya dari kerusakan akibat adanya gangguan yang terjadi sewaktu-waktu. Sistem proteksi perlu dirancang sedemikian rupa sehingga dapat beroperasi sesuai dengan yang direncanakan, yaitu mendeteksi dan mengisolasi gangguan dengan cepat. Oleh karena itu dibutuhkan koordinasi proteksi antar rele pengaman yang ada dalam sistem tenaga listrik itu sendiri dengan memperhatikan setting arus dan waktu masing-masing rele pengaman tersebut. Setting proteksi ini nantinya akan menghasilkan selektivitas yang tinggi dalam mengisolasi gangguan yang terjadi sesuai dengan lokasi gangguan. Gangguan yang terjadi di sistem tenaga listrik pun bermacam-macam mulai dari gangguan hubung singkat, beban lebih (*overload*), hingga permasalahan pada sistem pentanahan.

Rele pengaman yang digunakan dapat berfungsi sebagai *primary* ataupun *backup protection*. Rele pengaman yang termasuk sebagai *primary protection* berada di lokasi terdepan terjadinya gangguan yang bertujuan sebagai pengaman utama dalam mengisolasi gangguan. Sedangkan untuk rele sebagai *backup protection* berperan sebagai pengaman kedua (cadangan) apabila rele pengaman utama tidak dapat mengisolasi gangguan. Rele *backup protection* baru akan bekerja pada interval waktu tertentu setelah rele *primary protection* beroperasi. Oleh karena itu, rele *backup protection* harus mampu bertahan dalam kondisi gangguan untuk jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan rele *primary protection*.

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik akan menyebabkan aliran arus yang besar menuju ke titik gangguan. Arus gangguan tersebut memiliki nilai lebih besar dari rating arus maksimum yang di iijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan. Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik tiga fasa dan dapat menyebabkan timbulnya

arus lebih adalah gangguan hubung singkat (*short circuit*) dan gangguan beban lebih (*overload*)[2].

Gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor dari *internal* sistem dan *eksternal* sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari *internal* sistem, yaitu tegangan dan arus yang tidak normal, pemasangan rele yang kurang baik, terjadinya kesalahan mekanis karena adanya proses penuaan pada peralatan, kerusakan material (isolator pecah, kawat konduktor putus, atau kabel cacat pada isolasi), dan beban lebih. Sedangkan gangguan yang berasal dari *eksternal* sistem, yaitu gangguan-gangguan yang bersifat mekanis karena pekerjaan galian saluran lain, pengaruh cuaca (hujan, angin, serta surja petir), dan pengaruh lingkungan. Selain itu juga ada 2 jenis gangguan pada sistem tenaga listrik, yaitu gangguan yang bersifat permanen dan gangguan yang bersifat temporer.

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok[3] yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan simetri adalah gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri.

Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan asimetri adalah gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang karena nilai tiap fasanya tidak sama. Gangguan tak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat antar fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya.

2.1.2 Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Gangguan beban lebih terjadi karena adanya arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ($I > I_n$). Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik yang diizinkan. Gangguan beban lebih bukan bersifat gangguan murni, namun

bila gangguan ini dibiarkan terus menerus dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan sehingga bisa menimbulkan kerusakan pada isolasi dan peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus yang cukup tinggi akan mengalir dari sumber ke titik gangguan pada saat terjadi hubung singkat. Sumber arus hubung singkat yaitu sistem *utility*, generator, motor sinkron dan motor induksi. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat.

Reaktansi pada beberapa *cycle* pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi subtransient atau *subtransient reactance* (X''_d). Beberapa *cycle* kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien atau *transient reactance* (X'_d) dan kemudian kondisinya mencapai *steady state* dan reaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron atau *synchronous reactance* (X_d). Pada kondisi *steady state* sistem *utility*, generator dan motor sinkron masih memberikan arus kontribusi, sedangkan motor induksi sudah tidak memberikan arus kontribusi. Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dapat dilakukan sebagai berikut :

2.2.1 Gangguan Tiga Fasa

Hubung singkat tiga fasa adalah hubung singkat yang melibatkan ketiga fasanya. Besarnya arus hubung singkat tiga fasa ($I_{SC3\phi}$) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_{SC3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.1)$$

Dengan V_{LN} adalah tegangan nominal *line to netral* dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

2.2.2 Gangguan Dua Fasa

Hubung singkat dua fasa adalah hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Besarnya arus hubung singkat dua fasa ($I_{SC2\phi}$) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_{SC2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{SC3\phi} \approx 0,866 \times I_{SC3\phi} \quad (2.2)$$

Dengan V_{LN} adalah tegangan nominal *line to line*, X_1 adalah reaktansi urutan positif, dan X_2 adalah reaktansi urutan negatif.

2.2.3 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol dan besarnya tergantung pada sistem pentanahan yang digunakan. Besarnya arus hubung singkat dua fasa ($I_{SC1\emptyset}$) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_{SC1\emptyset} = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + 3 \times Z_g} \quad (2.3)$$

Dengan V_{LN} adalah tegangan nominal *line to line*, X_1 adalah reaktansi urutan positif, X_2 adalah reaktansi urutan negatif, X_0 adalah reaktansi urutan nol, dan Z_g adalah impedansi pentanahan. Apabila sistem menggunakan pentanahan solid maka $Z_g = 0$, sehingga persamaannya menjadi :

$$I_{SC1\emptyset} = \frac{3 \times V_{LN}}{3 \times X_1} = I_{SC3\emptyset} \quad (2.4)$$

2.3 Rele Pengaman

Rele merupakan bagian dari peralatan sistem tenaga listrik yang digunakan untuk memberikan sinyal kepada pemutus (*circuit breaker*) agar dapat memutuskan atau menghubungkan pelayanan penyaluran pada elemen sistem tenaga listrik. Rele akan memberikan sinyal kepada pemutus untuk memutuskan sistem tenaga listrik jika terjadi suatu gangguan di titik operasi. Gambar 2.1 berikut merupakan skema sederhana dari rele pengaman, yaitu :



Gambar 2.1 Skema Rele Pengaman

Pada dasarnya rele proteksi terdiri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak. Elemen operasi menerima masukan arus dari transformator arus (CT) ataupun tegangan dari transformator tegangan (PT) atau kombinasi dari keduanya.

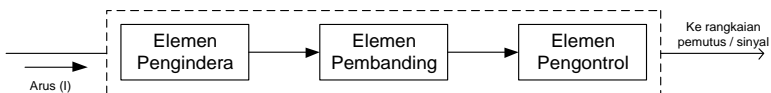
Rele melakukan pengukuran atau perbandingan operasi dasar input dan mengubahnya dalam bentuk gerakan kontak. Keadaan keluaran dari rele adalah menutup (*close*) dan ditahan (*block*). Jika keadaan tertutup maka rele akan memberikan sinyal untuk melakukan

proses pembukaan dari circuit breaker dimana pada gilirannya akan mengisolasi gangguan dari bagian sistem tenaga listrik lain.

Didalam penyetelan sebuah rele harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan operasi pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu hal-hal yang mempengaruhi dalam penyetelan rele harus benar-benar diperhatikan.

2.3.1 Elemen Dasar Rele Pengaman

Rele pengaman biasanya dipisahkan menjadi tiga elemen dasar seperti terlihat pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Bagan Elemen Dasar Rele Pengaman

a. Elemen Pengindra

Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung rele yang digunakan. Pada elemen ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya apakah keadaan yang diproteksi mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal yang untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembanding. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pengindra adalah transformator arus (CT).

b. Elemen Pembanding

Elemen ini berfungsi membandingkan besaran yang terlebih dahulu diterima elemen penginderaan dengan besaran listrik pada saat keadaan normal dan besaran yang *disetting* pada rele. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pembanding ini adalah rele, yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari elemen pengindra dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dan kerja rele.

c. Elemen Kontrol

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka *circuit breaker* atau memberikan sinyal. Komponen yang berfungsi sebagai elemen kontrol adalah kumparan penjatuh (*trip-coil*).

2.3.2 Syarat Rele Pengaman

Dalam pengoperasiannya, peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi beberapa syarat[1], yaitu:

a. Selektifitas

Selektifitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan *tripping* secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi tersebut. Dalam pengertian lain, suatu proteksi sistem tenaga harus bisa bekerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jeni gangguan yang harus diamankan.

b. Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu agar tetap bertahan pada karakteristik kerjanya. Stabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksi sehingga tidak terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang bukan merupakan besaran yang perlu dipertimbangkan.

c. Sensitifitas

Sensitifitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lain dimana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele disebut sensitif bila parameter operasi utamanya rendah. Artinya, semakin rendah besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif.

d. Kecepatan

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mengisolasi gangguan secepat dan sesegara mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya listrik dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem sehingga pada akhirnya dapat merusak sistem tenaga tersebut.

e. Keandalan

Kebutuhan perangkat sistem proteksi dengan tingkat keandalan yang tinggi merupakan salah satu faktor pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan jaringan sistem tenaga listrik. Dari berbagai pengalaman lapangan terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keandalan sistem proteksi jaringan tenaga listrik antara lain yaitu : perancangan, setelan rele, salah instalasi dan faktor kinerja.

2.4 Rele Arus Lebih

Salah satu jenis rele pengaman yang sering digunakan dalam sistem tenaga listrik sebagai pengaman peralatan adalah rele arus lebih. Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan hubung singkat (*short circuit*) dan gangguan beban lebih (*overload*). Rele ini memiliki prinsip kerja yaitu ketika *current transformer* (CT) sebagai *sensing* dari rele ini dilewati arus yang melebihi nilai *setting* rele maka rele akan segera bekerja. Dengan kata lain, rele akan beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll} I_f > I_p & \text{rele bekerja} & (\text{trip}) \\ I_f < I_p & \text{tidak bekerja} & (\text{blok}) \end{array}$$

Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Dan I_f merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, trafo, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa rele arus lebih waktu tertentu, rele arus lebih waktu *invers*, rele arus lebih waktu instan.

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang *disetting*. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputus dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.3 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.

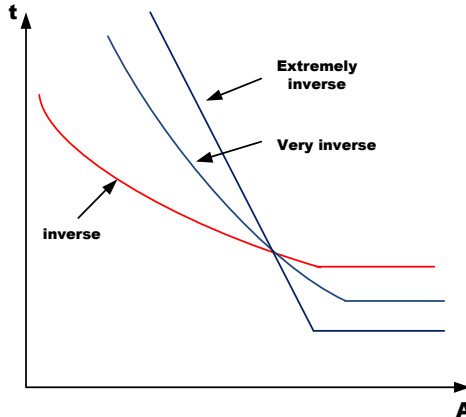


Gambar 2.3 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih ini memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Jadi, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele akan lebih lama. TCC (*time-current characteristic*) adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

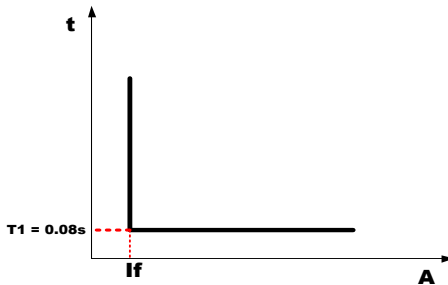
Karakteristik invers ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* [4] seperti pada gambar 2.4 Standar lain, misalnya standar IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*. Kurva invers ini sering dijumpai dengan *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite*.



Gambar 2.4 Karakteristik *Standard Inverse*, *Very Inverse* dan *Extremely Inverse*

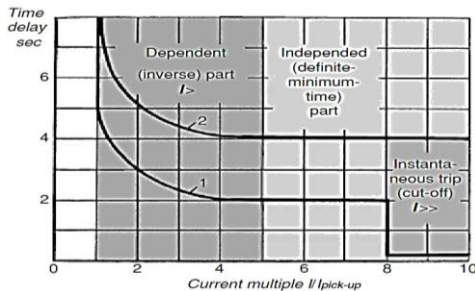
2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1detik, pada umumnya kurang dari 0.08 detik, seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Instan

Pada setelan koordinasi pengaman di sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan setelan instan . Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms). Gambar 2.6 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan.



Gambar 2.6 Kombinasi IDMT Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan

2.5 Penyetelan Rele Arus Lebih

Rele arus lebih pada dasarnya memiliki fungsi sebagai pengaman gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal rele arus lebih ini dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih (*overload*). Fungsi dari rele arus lebih ini selain sebagai pengaman utama untuk melindungi bagian yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan (*backup*) pada bagian berikutnya.

2.5.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers memiliki dua bagian penyetelan yaitu setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Untuk setelan *pickup*, batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Menurut standart british BS142 batas nilai *setting* adalah $1,05 - 1,3 I_{FLA}$. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{NCT} \quad (2.5)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam ampere dengan batas penyetelannya adalah [5]

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA} \quad (2.6)$$

Dimana I_{FLA} adalah arus saat beban maksimum peralatan. Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan 2.7 berikut sesuai dengan referensi [6]. Dimana nilai koefisien invers *time dial* direpresentasikan dalam tabel 2.1.

$$t = \frac{K \times Td}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right] \times \beta} \quad (2.7)$$

Di mana :

t = waktu operasi (detik)

Td = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

K = koefisien invers 1

α = koefisien invers 2

β = koefisien invers 3

Tabel 2.1 Koefisien Invers *Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	K	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

2.5.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan

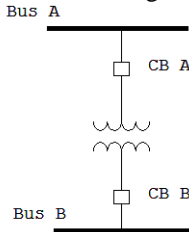
Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \min}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum yang ditunjukkan pada persamaan berikut[5]:

$$1,6 I_{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min} \quad (2.8)$$

Untuk pertimbangan khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada gambar 2.7. Untuk menentukan *setting pickup* rele CB bus A dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \max \text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min, A} \quad (2.9)$$

Jika syarat ini terpenuhi maka tidak perlu dilakukan grading time melainkan dapat kembali lagi ke 0,1. Untuk mengatasi gangguan yang lebih besar pada bus B sehingga rele dapat kerja secepat mungkin. Nilai $0,8 I_{sc \min}$, digunakan untuk mengestimasi adanya kesalahan kerja rele sehingga dapat berkerja seminimal mungkin.



Gambar 2.7 Rele Arus Lebih Pengamanan Transformator

Di mana $I_{sc \max \text{ bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada bus B, sedangkan $I_{sc \min A}$ adalah arus hubung singkat minimum pada bus A.

2.6 Koordinasi Rele Arus dan Waktu

Penyetelan rele terutama harus mempertimbangkan kecepatan dan selektivitasnya kerja dari setiap rele pada masing-masing daerah kerjanya. Untuk menentukan harus dihitung arus hubung singkat maksimum yaitu arus hubung singkat tiga fasa pada pembangkitan maksimum gangguan yang dihitung di daerah terdekat dengan bus atau CB. Untuk waktu operasi dari rangkaian pengaman, yaitu waktu yang diperlukan untuk *pick-up* sampai kontak CB terbuka.

Rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. *Time delay* ini sering dikenal sebagai setelan *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0,2 – 0,35 detik [7]. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242:

Waktu buka CB : 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0,1s

Faktor keamanan : 0,12 – 0,22s

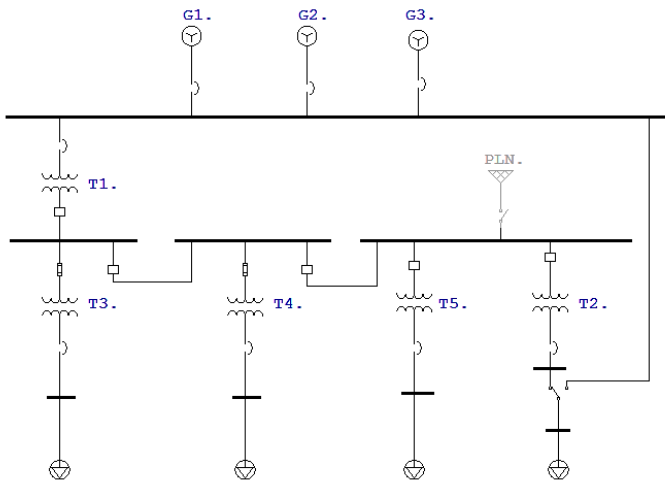
Untuk rele berbasis *microprocessor overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0,2 – 0,4s.

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PABRIK BIOETANOL DAN PABRIK GULA GEMPOLKREP PTPN X

3.1 Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol[8]

Sistem kelistrikan pabrik biotenaol memiliki sistem kelistrikan yang cukup sederhana, dimana sebagian besar energi listriknya dipergunakan untuk proses produksi, selain itu juga digunakan untuk keperluan non-produksi. Pada operasi keadaan normal, pabrik bioetanol menanggung total beban 3,92 MW yang keseluruhan bebannya bekerja pada level tegangan rendah yaitu 0,38 kV. Kebutuhan daya listrik tersebut disuplai dari grid PLN dan PLTD yang dimiliki oleh pabrik bioetanol. Adapun *single line diagram* sistem kelistrikan pabrik bioetanol ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol

3.1.1 Sistem Pembangkitan

Pabrik bioetanol memiliki beberapa sumber energi listrik sebagai berikut :

- Sumber dari 3 unit *diesel generator* masing-masing 1,488 MW dengan tegangan nominal 0,38 kV.
- Sumber dari *power line* PLN 20 kV 1730 KVA.

Pola operasi sistem pembangkit pada kondisi normal adalah dengan mengaktifkan dua *diesel generator* sedangkan suplai dari sumber PLN serta satu *diesel generator* lainnya digunakan sebagai cadangan ketika suplai daya dari sumber pabrik gula Gempolkrep terganggu.

3.1.2 Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah kesatuan peralatan yang bekerja menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke beban. Sistem distribusi yang digunakan pabrik bioetanol adalah sistem distribusi radial. Tegangan menengah yang digunakan adalah 20 kV. Untuk mendistribusikan daya ke beban, tegangan menengah ini kemudian diturunkan menjadi tegangan lebih rendah dengan menggunakan trafo *step-down* menjadi 0,38 kV. Data trafo daya yang digunakan dalam sistem kelistrikan pabrik bioetanol sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Transformator Pabrik Bioetanol

No.	ID Transformator	Kapasitas (KVA)	Rating Tegangan (kV)	
			Primer	Sekunder
1	T1	4.000	0,38	20
2	T2	630	20	0,38
3	T3	2.500	20	0,38
4	T4	2.000	20	0,38
5	T5	150	20	0,38

3.1.3 Beban

Beban yang dimiliki pabrik bioetanol terdiri dari beban motor dan beban statis. Beban motor yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasional di pabrik bioetanol berjumlah 124 motor. Umumnya motor yang digunakan adalah motor induksi dengan kapasitas yang bervariasi yang bekerja pada tegangan rendah 0,38 kV. Kapasitas motor induksi terbesar dan terkecil yang digunakan di pabrik bioetanol masing-masing adalah 190 kW dan 0,3 kW. Berbeda dengan beban motor, jumlah beban statis pada pabrik bioetanol tidak terlalu banyak, yaitu 34 beban statis. Tabel 3.2 berikut merepresentasikan pembagian beban berdasarkan pembebanan pada transformator yang diwakilkan dengan beban *lump*. Sedangkan untuk data lengkap masing-masing beban, terlampir pada bagian lampiran.

Tabel 3.2 Data Pembebanan Transformator Pabrik Bioetanol

No	ID Beban Lump	Bus	Kapasitas (KVA)	Tegangan (kV)
1	Lump T3	MDP-2	1.876	0,38
2	Lump T4	Busbar380v	1.102	0,38
3	Lump T5	DP-1	143	0,38
4	Lump T2	Bus230	286	0,38

3.2 Sistem Kelistrikan Pabrik Gula Gempolkrep

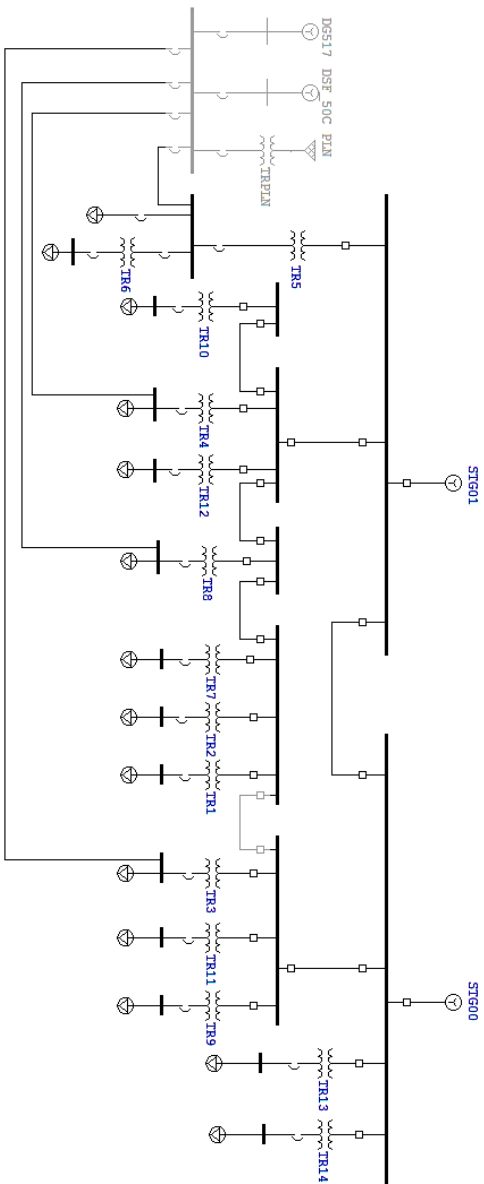
Sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep memiliki sistem kelistrikan yang berbeda dengan sistem kelistrikan pabrik bioetanol dari sisi sumber energi yang disalurkan dan pembebanan. Energi listrik yang dihasilkan pembangkit pabrik gula Gempolkrep dipergunakan untuk proses produksi dan kebutuhan non-produksi. Untuk memenuhi kebutuhan daya listrik tersebut maka sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep disuplai dari PLTU, PLTD, dan *grid* PLN. Pada operasi keadaan normal, pabrik gula Gempolkrep menanggung total beban ± 6 MW dan seluruh bebannya bekerja pada level tegangan rendah yaitu 0,38 kV. Adapun *single line diagram* sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep ditunjukkan pada gambar 3.2.

3.2.1 Sistem Pembangkitan

Pabrik gula Gempolkrep memiliki beberapa sumber energi listrik sebagai berikut:

- Sumber dari 2 unit *steam turbine generator* masing-masing 4,5 MW dengan tegangan nominal 0,38 kV.
- Sumber dari 2 unit *diesel generator* masing-masing 1,505 MW dan 517 kW dengan tegangan nominal 0,38 kV.
- Sumber dari *power line* PLN 20 kV 1250 KVA.

Pola operasi sistem pembangkit pada kondisi normal adalah dengan mengaktifkan dua unit *steam turbine generator*. Dua unit *diesel generator* dan sumber PLN digunakan sebagai cadangan dan sumber daya listrik pabrik gula Gempolkrep pada saat di luar produksi.



Gambar 3.2 Sistem Kelistrikan Pabrik Gula Gempolkrep

3.2.2 Sistem Distribusi

Sistem distribusi yang digunakan pabrik gula Gempolkrep adalah sistem distribusi radial. Tegangan menengah yang digunakan adalah 6 kV. Untuk mendistribusikan daya ke beban, tegangan menengah ini kemudian diturunkan menjadi tegangan lebih rendah dengan menggunakan trafo *step-down* menjadi 0,38 kV. Data trafo daya yang digunakan dalam sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep sebagai berikut :

Tabel 3.3 Data Transformator Pabrik Gula Gempolkrep

No.	ID Transformator	Kapasitas (KVA)	Rating Tegangan (kV)	
			Primer	Sekunder
1	TR1	1.000	6	0,38
2	TR2	1.600	6	0,38
3	TR3	1.000	6	0,38
4	TR4	1.600	6	0,38
5	TR5	1.000	6	0,38
6	TR6	600	0,38	0,22
7	TR7	1.000	6	0,38
8	TR8	1.000	6	0,38
9	TR9	1.250	6	0,38
10	TR10	1.250	6	0,38
11	TR11	1.250	6	0,38
12	TR12	1.000	6	0,38
13	TR13	3.000	6	0,38
14	TR14	2.000	6	0,38

3.2.3 Beban

Sama halnya dengan beban yang ada di pabrik bioetanol, beban di pabrik gula Gempolkrep terdiri dari beban motor dan beban statis. Jumlah beban motor yang digunakan di pabrik gula Gempolkrep melebihi jumlah beban motor yang ada yang ada di pabrik bioetanol, yaitu ± 400 motor. Akan tetapi dari jumlah tersebut tidak semua dioperasikan secara *continue* dan ada beberapa jumlah motor juga yang terhubung dengan kelistrikan yang digunakan hanya sebagai cadangan motor utama serta bersifat *intermittent*. Beban motor yang digunakan di pabrik gula Gempolkrep pada umumnya berupa motor induksi dengan kapasitas yang bervariasi. Kapasitas motor induksi terbesar dan terkecil

yang digunakan di pabrik gula Gempolkrep masing-masing adalah 800 kW dan 1,5 kW. Seluruh beban motor tersebut, baik mulai dari kapasitas terbesar hingga kapasitas terkecil bekerja di tegangan 0,38 kV.

Beban statis pada pabrik gula Gempolkrep berupa penerangan, kebutuhan operasional kantor, dan perumahan dinas perusahaan. Sama halnya dengan beban motor, jumlah beban statis banyak juga akan tetapi hanya menyerap daya ± 95 kVA. Mengingat jumlah beban motor dan beban statis yang begitu banyak, maka tabel 3.4 berikut menyajikan data pembagian beban berdasarkan pembebanan pada transformator yang diwakilkan dengan beban *lump*.

Tabel 3.4 Data Pembebanan Transformator Pabrik Gula Gempolkrep

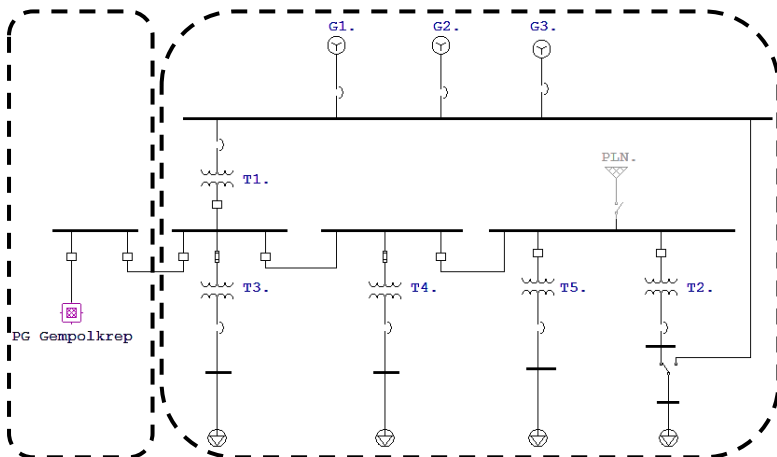
No	ID Beban Lump	Bus	Kapasitas (KVA)	Tegangan (kV)
1	LLTR1	Bus419	1.000	0,38
2	LLTR2	Bus418	1.600	0,38
3	LLTR3	Bus423	1.000	0,38
4	LLTR4	Bus412	1.600	0,38
5	LLTR5	Bus445	1.000	0,38
6	LLTR6	Bus449	5,7	0,38
7	LLTR7	Bus417	1.000	0,38
8	LLTR8	Bus416	1.000	0,38
9	LLTR9	Bus439	970	0,38
10	LLTR10	Bus411	1.250	0,38
11	LLTR11	Bus438	1.250	0,38
12	LLTR12	Bus414	865	0,38
13	LLTR13	Bus424	2.350	0,38
14	LLTR14	Bus444	1.910	0,38

3.3 Sistem Kelistrikan Pabrik Bietanol Integrasi Pabrik Gula Gempolkrep

Sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep memiliki 2 sumber pembangkit yang tergolong sangat murah, yaitu *steam turbine generator* atau sering disebut juga dengan PLTU. Hal ini dikarenakan bahan baku untuk proses penguapannya menggunakan ampas tebu hasil sisa dari penggilingan tebu. Pengoperasian dua *steam turbine generator* dapat melayani beban yang ada di pabrik gula Gempolkrep saat kondisi keadaan normal. Pengintegrasian dengan sistem kelistrikan pabrik

bioetanol merupakan pengoptimalan dua *steam turbine generator* yang dimiliki sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep.

Disisi lainnya, sistem kelistrikan pabrik bioetanol dan sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep memiliki level tegangan menengah yang berbeda. Apabila level tegangan menengah sistem kelistrikan pabrik bioetanol adalah 20 kV, maka level tegangan menengah yang dimiliki kelistrikan pabrik gula Gempolkrep adalah 6 kV. Oleh karena itu untuk mengintegrasikan kedua pabrik ini digunakan sebuah transformator daya dengan rating 7,5 MVA 6 kV/20 kV. Adapun *single line diagram* sistem kelistrikan pabrik bioetanol yang terintegrasi dengan sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep ditunjukkan pada gambar 3.3. Dimana pada gambar tersebut menggambarkan bahwa kotak besar merupakan sistem kelistrikan pabrik bioetanol sedangkan kotak kecil merupakan saluran yang terhubung dengan sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep.



Gambar 3.3 Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol Integrasi dengan Sistem Kelistrikan Pabrik Gula Gempolkrep

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol dan Pabrik Gula Gempolkrep PT. PN X

Pemodelan sistem kelistrikan pabrik bioetanol dan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X dimodelkan dengan cara menggambarkan *single line diagram* menggunakan bantuan *software* simulasi ETAP 12.6.0. Pemodelan sistem kelistrikan kedua pabrik tersebut dimodelkan terintegrasi satu sama lain agar memudahkan analisa yang dilakukan. Untuk melengkapi pemodelan *single line diagram* tersebut dibutuhkan beberapa data peralatan seperti data generator, data transformator, data kabel, data motor, data bus, dan data rele pengaman. Data-data tersebut kemudian diinputkan kedalam masing-masing peralatan yang sudah tergambar *single line diagram*nya di *software* ETAP 12.6.0. *Single line diagram* pabrik bioetanol dan pabrik gula Gempolkrep terlampir pada bagian lampiran.

Setelah pemodelan *single line diagram* selesai, maka langkah selanjutnya adalah menganalisa aliran daya yang bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem kelistrikan pabrik bioetanol dan pabrik gula Gempolkrep PT. PN X telah dalam kondisi normal. Dari analisa tersebut dapat diketahui tegangan pada bus, aliran daya tiap saluran, rugi-rugi daya listrik, dan faktor daya dari sistem tenaga listrik yang *existing*. Selain itu juga, dilakukan analisa hubung singkat guna mengetahui rating arus hubung singkat maupun arus kontribusi yang dialirkan oleh peralatan ke titik gangguan. Analisa ini diperlukan untuk melakukan resetting pada sistem kelistrikan.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman Pabrik Bioetanol

Pemilihan tipikal untuk koordinasi rele pengaman pada pabrik bioetanol bertujuan untuk mempermudah *setting* rele pengaman. Tipikal yang dipilih dapat dijadikan sebagai acuan dalam *setting* rele pengaman lainnya karena tipikal tersebut sudah mewakili keseluruhan sistem kelistrikan pabrik bioetanol. Pada tugas akhir ini dipilih empat tipikal untuk dianalisa, yaitu :

1. Tipikal 1 adalah tipikal pada bus G1 hingga bus 381 dengan saluran terpanjang dan beban terbesar untuk sistem koordinasi rele

pengaman arus lebih gangguan fasa pada pabrik bioetanol. Tipikal ini terdiri dari dua level tegangan, yaitu 20 kV dan 0,38 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yang dikoordinasikan, yaitu rele CB394, rele R.CB242, rele R.CB243, rele R.CB432, rele R.CB433, rele R.CB434, rele R.CB430, rele R.CB431, rele R.CB427, rele CB425, dan rele CB413. Pembahasan tipikal ini dibagi menjadi tiga bahasan mengingat tipikal saluran yang panjang.

2. Tipikal 2 adalah tipikal pada bus *cubicle* 4 hingga bus 40 dengan beban terbesar untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa pada pabrik bioetanol. Tipikal ini terdiri dari dua level tegangan, yaitu 20 kV dan 0,38 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yang dikoordinasikan, yaitu rele CB40, rele CB227, rele R.CB237, dan rele R.CB549.
3. Tipikal 3 adalah tipikal pada bus *cubicle* 3 hingga bus 401 dengan beban terbesar untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa pada pabrik bioetanol. Tipikal ini terdiri dari dua level tegangan, yaitu 20 kV dan 0,38 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yang dikoordinasikan, yaitu rele CB378, rele MCCB2, rele R.CB419, dan rele R.CB550.
4. Tipikal 4 adalah tipikal pada bus 446 hingga bus *cubicle* 4 yaitu pada saluran integrasi untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa pada pabrik bioetanol. Tipikal ini berada di level tegangan 20 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yang dikoordinasikan, yaitu rele R.CB431, rele R.CB437, rele R.CB436, dan rele R.CB435.

4.3 Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah dilakukan analisa load flow pada sistem kelistrikan pabrik bioetanol, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa hubung singkat (*short circuit*) dengan menggunakan bantuan *software* ETAP 12.6.0. Analisa ini digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih. Terdapat dua paramter yang digunakan dalam menghitung arus hubung singkat, yaitu arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Arus hubung singkat minimum yaitu gangguan hubung singkat antar fasa pada saat 30 *cycle*. Gangguan hubung singkat antar fasa dipilih dikarenakan pada gangguan ini memiliki level hubung singkat yang paling kecil. Sedangkan hubung singkat maksimum yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah 4 *cycle*. Analisa hubung

singkat maksimum cukup dilakukan pada 4 *cycle* dikarenakan waktu kerja minimal dari OCR yaitu sebesar 0,1 s.

4.3.1 Hubung Singkat Minimum 30 Cycle

Hubung singkat minimum terjadi pada saat semua generator yang terdapat pada pabrik bioetanol bekerja pada keadaan normal. Hubung singkat minimum 30 *cycle* ini akan digunakan sebagai batasan maksimum arus *pickup (setting)* rele arus lebih dengan waktu kerja instan. Sehingga diharapkan apabila terjadi gangguan hubung singkat pada arus gangguan minimum, rele tersebut dapat bekerja secara instan atau sesuai dengan *setting time delay* yang telah ditentukan. Pada simulasi gangguan hubung singkat minimum dilakukan pada seluruh bus dalam tipikal yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil simulasi hubung singkat minimum dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Hubung Singkat Minimum 30 Cycle

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 <i>cycle</i> (kA)
1	Bus381	0,38	7,65
2	MDP 4	0,38	15,62
3	Main 2	0,38	16,18
4	Bus230	0,38	16,18
5	Bus232	20	1,46
6	Bus231	20	1,46
7	Cubicle 4	20	1,48
8	Cubicle 3	20	1,48
	- Kont. Sek. T1	20	0,328
	- Kont. Sek. TR INT	20	1,16
9	Power house 1	0,38	54,93
	- Kont. G1	0,38	10,02
	- Kont. Primer T1	0,38	24,38
10	Bus40	0,38	7,74
11	MSP-01	0,38	28,22

Tabel 4.1 Data Hubung Singkat Minimum 30 *Cycle* (lanjutan)

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 <i>cylce</i> (kA)
12	Busbar 380v	0,38	34,54
13	Bus401	0,38	8,12
14	UP02	0,38	27,39
15	MDP-2	0,38	30,86
16	BusINT	20	1,48

4.3.2 Hubung Singkat Maksimum 4 *Cycle*

Hubung singkat maksimum terjadi pada saat semua generator yang terdapat pada pabrik bioetanol bekerja pada keadaan normal. Hubung singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Pada simulasi gangguan hubung singkat maksimum dilakukan pada seluruh bus dalam tipikal yang telah ditentukan. Hasil simulasi hubung singkat maksimum dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data Hubung Singkat Maksimum 4 *Cycle*

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.max 4 <i>cylce</i> (kA)
1	Bus381	0,38	9,24
2	MDP 4	0,38	19,60
3	Main 2	0,38	20,38
4	Bus230	0,38	20,38
5	Bus232	20	2,48
6	Bus231	20	2,48
7	Cubicle 4	20	2,56
8	Cubicle 3	20	2,56
	- Kont. Sek. T1	20	0,428
	- Kont. Sek. TR INT	20	2,03
9	Power house 1	0,38	75,88

Tabel 4.2 Data Hubung Singkat Maksimum 4 *Cycle* (lanjutan)

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.max 4 <i>cylce</i> (kA)
	- Kont. G1	0,38	13,98
	- Kont. Primer T1	0,38	33,95
10	Bus40	0,38	9,28
11	MSP-01	0,38	37,17
12	Busbar 380v	0,38	47,61
13	Bus401	0,38	10,43
14	UP02	0,38	39,44
15	MDP-2	0,38	45,42
16	BusINT	20	2,56

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan pemilihan peralatan pengaman untuk mengisolasi gangguan arus lebih fasa pada sistem kelistrikan pabrik bioetanol. Gangguan tersebut dapat berupa gangguan beban lebih (*over load*) atau gangguan hubung singkat (*short circuit*). Perancangan koordinasi proteksi yang baik dan tepat sangat diperlukan untuk menjamin keberlangsungan kontinuitas daya listrik pada proses produksi di industri. Pada koordinasi rele arus lebih (50/51) dilakukan *setting* arus dan waktu. Perhitungan *setting* rele arus lebih ini meliputi nilai *low set*, *higt set*, dan *time dial*. Sedangkan untuk *time delay*nya pada tugas akhir ini ditentukan 0,2s sesuai dengan standard IEEE 242.

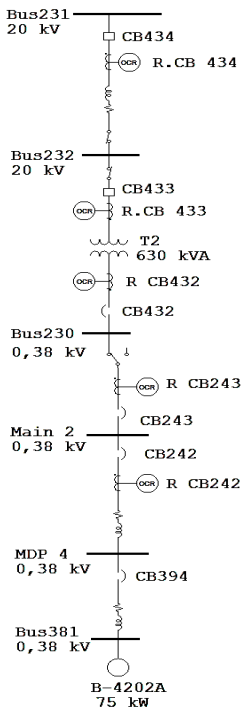
Setelah mendapatkan nilai parameter-parameter yang telah ditentukan untuk *setting* rele arus lebih, maka langkah selanjutnya adalah mengplot *time current curve* pada *star-protective device coordination* di *software* simulasi ETAP 12.6.0. Dari hasil plot tersebut dapat dilihat dan diketahui *setting* koordinasi yang tepat. Koordinasi rele arus lebih ini memperhitungkan *setting* rele yang berada diatasnya atau dibawahnya. Selain itu juga, koordinasi rele pengaman ini memperhatikan arus *starting* motor dan arus pengisian (*inrush current*) pada transformator.

4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Pada sub-bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa untuk mempermudah analisa dan pembacaan kurva, koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 1 dibagi menjadi tiga bahasan yaitu tipikal 1a, tipikal 1b, dan tipikal 1c.

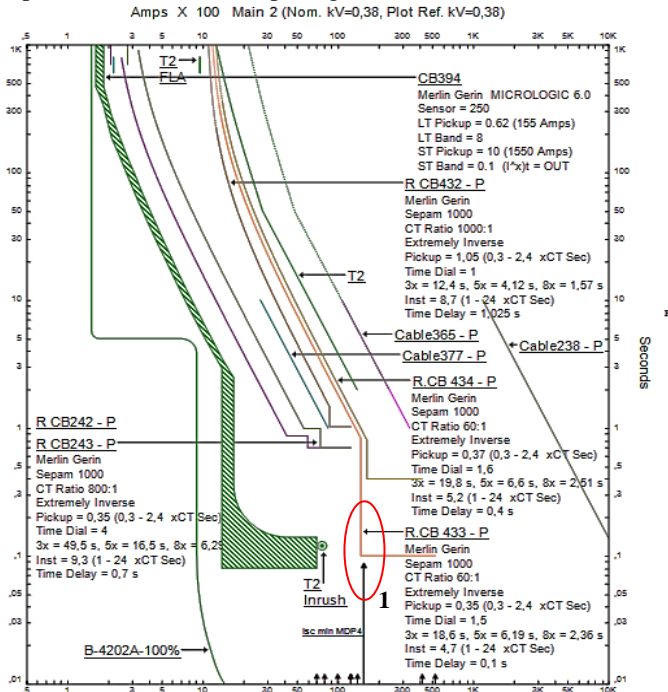
4.4.1.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1a

Pada tipikal 1a terdiri dari empat rele *low voltage circuit breaker* dan dua rele *high voltage circuit breaker*. Dimana tiga dari empat LVCB tersebut menggunakan rele *eksternal* dan lainnya menggunakan rele *internal*. Sedangkan pada dua HVCB pada tipikal ini dan tipikal-tipikal selanjutnya menggunakan rele *internal*. Rele yang dikoordinasikan terdiri dari enam rele, yaitu rele CB394, rele R.CB242, rele R.CB243, rele R.CB432, rele R.CB433, dan rele R.CB434. Tipikal 1a dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1a

Pada koordinasi tipikal 1a *existing* terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih harus perlu disempurnakan lagi. Hal ini dapat dilihat pada kurva arus waktu pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 1a

Berikut ini keterangan dari hasil plotting gambar 4.2, yaitu :

1. Apabila terjadi hubung singkat minimum antar fasa pada bus MDP4, maka rele R.CB433 akan bekerja terlebih dahulu pada 0,1 s. Hal tersebut tidak diperkenankan karena dapat menyebabkan kesalahan koordinasi. Sedangkan rele utama untuk mengamankan bus MDP4 adalah rele R.CB242.
2. *Setting low set* pada rele R.CB242 dan rele R.CB243 berada dibawah nilai *FLA* bus MDP 4. Hal ini menyebabkan pembebanan pada bus MDP 4 dapat menyentuh kurva invers rele R.CB242 dan rele R.CB243 sebelum mencapai arus beban penuh dan mengakibatkan rele tersebut bekerja.

Dari analisa kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele pada tipikal 1a ini perlu disempurnakan agar dapat diperoleh koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele pengaman arus lebih gangguan fasa adalah sebagai berikut :

☑ CB394

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : MICROLOGIC 6.0
Isc min Bus381 : 7650 A
I_{sensor} : 250 A
FLA motor B-2402A : 151 A

Long Time Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ motor B-2402A} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ motor B-2402A}$$

$$1,05 \times 151 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 151$$

$$158,55 \leq I_{set} \leq 211,4$$

$$I_{set_{LT}} = 160 \text{ A}$$

$$Long \ Time \ (LT) \ Pickup = \frac{I_{set_{LT}}}{I_{sensor}} = \frac{160}{250} = 0,64$$

$$Dipilih \ LT \ Pickup = 0,64$$

$$Dipilih \ LT \ Band = 8 \text{ detik}$$

Short Time Pickup

$$2 \times FLA \text{ motor B-2402A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \ min \ Bus381}$$

$$2 \times 151 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 7640$$

$$302 \leq I_{set} \leq 6120$$

$$I_{set_{ST}} = 1280 \text{ A}$$

$$Short \ Time \ (ST) \ Pickup = \frac{I_{set_{ST}}}{I_{set_{LT}}} = \frac{1280}{160} = 8$$

$$Dipilih \ ST \ Pickup = 8 \text{ A}$$

$$Dipilih \ ST \ Band = 0,1 \text{ detik}$$

☑ R.CB242

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 1000
Curve Type : *Standart Inverse Time*
CT Ratio : 600 / 1
Isc min bus MDP 4 : 15620 A
Isc max bus MDP 4 : 19600 A

FLA

: 582,6 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 582,6 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 582,6$$

$$611,73 \leq I_{set} \leq 815,64$$

$$\frac{611,73}{600} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{815,64}{600} \text{ In}$$

$$1,02 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1,35 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1,02 In (pickup range 0,3 – 2,4 dengan step 0,05)

Nilai Aktual Iset = 612 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^a - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^a - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max bus MDP 4}}}{I_{tap \times CT primary}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{19600}{1,02 \times 600} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,77 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,77 \text{ s}$$

Dipilih Td = 1,8 s (range 0,1 – 12,5 dengan step 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus MDP 4}}$$

$$1,6 \times 582,6 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 15620$$

$$932,16 \leq I_{set} \leq 12496$$

$$\frac{932,16}{600} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{12496}{600} \text{ In}$$

$$1,55 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 20,82 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 3,3 In (range dipilih 1 - 24 dengan step 0,1)

Iset = 1980 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,5 s

☑ R.CB243

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 1
Isc min bus Main 2	: 16180 A
Isc max bus Main 2	: 20380 A
<i>FLA</i>	: 582,6 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 582,6 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 582,6$$

$$611,73 \leq I_{set} \leq 815,64$$

$$\frac{611,73}{800} In \leq Tap \leq \frac{815,64}{800} In$$

$$0,77 In \leq Tap \leq 1,02 In$$

Dipilih Tap = 0,8 In (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 640 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{1}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{1}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max bus Main 2}}}{I_{tap \times CT \text{ primary}}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{20380}{0,8 \times 800} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,77 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,77 \text{ s}$$

Dipilih Td = 1,9 s (*range* 0,1 – 12,5 dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus Main 2}}$$

$$1,6 \times 582,6 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 16180$$

$$932,16 \leq I_{set} \leq 12944$$

$$\frac{932,16}{800} In \leq Tap \leq \frac{12944}{800} In$$

$1,16 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 16,18 \text{ In}$
 Dipilih Tap = 2,5 In (*range* dipilih 1 - 24 dengan *step* 0,1)
 Iset = 2000 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,5 s

☑ R.CB432

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 1000
Curve Type : *Standart Inverse Time*
CT Ratio : 1000 / 1
 Isc min Bus 230 : 16180 A
 Isc max Bus 230 : 20380 A
 FLA Sekunder T2 : 957,2 A

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Sekunder T2} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA Sekunder T2}$

$$1,05 \times 957,2 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 957,2$$

$$1005,06 \leq \text{Iset} \leq 1340,08$$

$$\frac{1005,06}{1000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{1340,08}{1000} \text{ In}$$

$$1,005 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1,34 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1,1 In (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 1100 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 230}}}{I_{\text{tap x CT primary}}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{20380}{1,1 \times 1000} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,62 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,62 \text{ s}$$

Dipilih Td = 1,1 s (*range* 0,1 – 12,5 dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Sekunder T2} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus 230}}$$

$$1,6 \times 957,2 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 16180$$

$$1531,52 \leq I_{set} \leq 12944$$

$$\frac{1531,52}{1000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{12944}{1000} I_n$$

$$1,53 I_n \leq \text{Tap} \leq 12,94 I_n$$

Dipilih Tap = 3 In (*range* dipilih 1 - 24 dengan *step* 0,1)

Iset = 3000 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,7 s

☑ R.CB433 dan R.CB434

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 60 / 1
Isc min Bus232	: 1460 A
Isc max Bus232	: 2480 A
Isc max Bus230	: 20380 A (0,38kV)
	: 387,22 A (20kV)
<i>FLA Primer T2</i>	: 18,19 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Primer T2} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ Primer T2}$$

$$1,05 \times 18,19 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 18,19$$

$$19,1 \leq I_{set} \leq 25,47$$

$$\frac{19,1}{60} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{25,47}{60} I_n$$

$$0,32 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,42 I_n$$

Dipilih Tap = 0,36 In (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 21,6 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{1}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{1}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus 232}}}{I_{tap \times CT \text{ primary}}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{2480}{0,36 \times 60} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,21 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,21 \text{ s}$$

Dipilih $T_d = 1,15 \text{ s}$ (*Range* 0,1 – 12,5 dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \text{ max Bus230}} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus232}}$$

$$387,22 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1460$$

$$387,22 \leq I_{set} \leq 1168$$

$$\frac{387,22}{60} I_n \leq I_{tap} \leq \frac{1168}{60} I_n$$

$$6,45 I_n \leq I_{tap} \leq 19,46 I_n$$

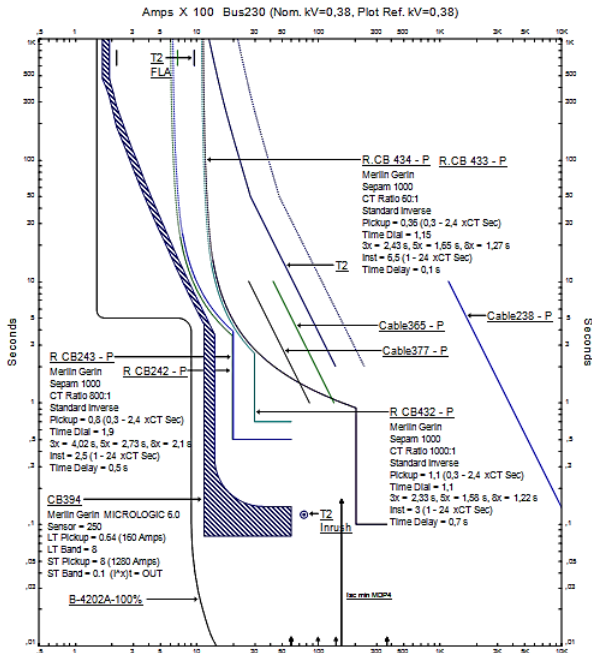
Dipilih $I_{tap} = 6,5 I_n$ (*range* dipilih 1 - 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 390 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0,1 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di plot kurva arus waktu kondisi *resetting* tipikal 1a pada *software* simulasi. Hasil dari plot tersebut adalah seperti gambar 4.3 berikut.



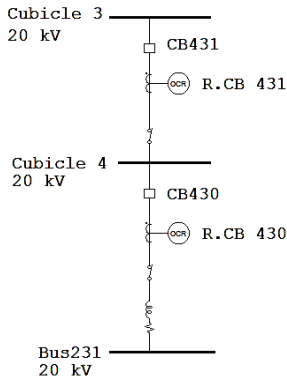
Gambar 4.3 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 1a

Berikut ini keterangan dari plot kurva *resetting* pada gambar 4.3, yaitu :

1. Saat terjadi hubung singkat minimum antar fasa pada bus MDP4, maka rele utama yang bekerja adalah rele R.CB242 dan rele R.CB243 dengan waktu instan 0,5 s. Jika rele tersebut gagal, maka di *backup* oleh rele R.CB432 dengan waktu instant 0,7 s sebagai rele *backup* 1 dan rele R.CB433 dengan waktu invers 0,942 s sebagai rele *backup* 2.
2. *Setting low set* pada rele R.CB242 dan rele R.CB243 dibuat lebih besar dari nilai *FLA* bus MDP 4 sehingga pembebanan pada bus MDP 4 tidak menyentuh kurva invers rele R.CB242 dan rele R.CB243 sebelum mencapai arus beban penuh.

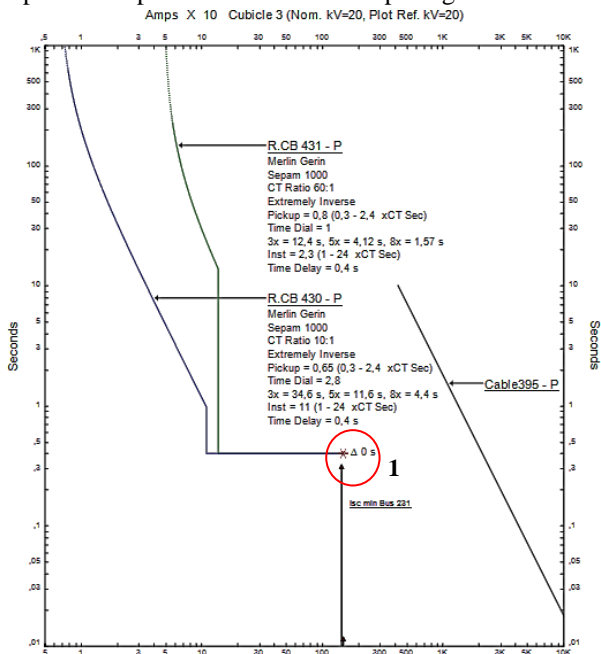
4.4.1.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1b

Pada tipikal 1b terdiri dari dua *high voltage circuit breaker*. Rele yang akan dikoordinasikan adalah rele R.CB430 dan rele R.CB431. *Single line diagram* tipikal 1b dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1b

Pada koordinasi tipikal 1b *existing*, koordinasi antar rele R.CB430 dengan rele R.CB431 masih harus perlu disempurnakan lagi. Hal ini dapat dilihat pada kurva arus waktu pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 1b

Berikut ini merupakan keterangan dari hasil plotting kondisi *existing* :

1. Apabila terjadi hubung singkat minimum pada Bus231 maka rele R.CB430 dan rele R.CB431 akan mendeteksi gangguan secara bersamaan dikarenakan memiliki *setting time delay* yang sama. Hal ini tidak diperkenankan karena dapat menyebabkan CB430 dan CB431 bekerja secara bersamaan. Sehingga apabila hal tersebut terjadi maka akan terjadi pemadaman yang meluas.

Dari analisa kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ R.CB430

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 60 / 1
Isc min Bus231	: 1460 A
Isc max Bus231	: 2480 A
<i>FLA</i>	: 22,52 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 22,52 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 22,52$$

$$23,65 \leq I_{set} \leq 31,53$$

$$\frac{23,65}{60} I_n \leq T_{ap} \leq \frac{31,53}{60} I_n$$

$$0,39 I_n \leq T_{ap} \leq 0,53 I_n$$

Dipilih $T_{ap} = 0,4$ In (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual $I_{set} = 24$ A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus231}}}{I_{tap \times CT \text{ primary}}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{2480}{0,45 \times 60} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,38 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,38 \text{ s}$$

Dipilih $T_d = 1,35 \text{ s}$ (*range* 0,1 – 12,5, dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus231}}$$

$$1,6 \times 22,52 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1460$$

$$36,04 \leq I_{set} \leq 1168$$

$$\frac{36,04}{60} I_n \leq Tap \leq \frac{1168}{60} I_n$$

$$0,6 I_n \leq Tap \leq 19,46 I_n$$

Dipilih $Tap = 8 I_n$ (*range* 1 - 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 480 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0,3 s

☑ R.CB431

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100 / 1
<i>Isc min bus Cubicle4</i>	: 1480 A
<i>Isc max bus Cubicle4</i>	: 2560 A
<i>FLA</i>	: 79,26 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 79,26 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 79,26$$

$$83,22 \leq I_{set} \leq 110,97$$

$$\frac{83,223}{100} I_n \leq Tap \leq \frac{110,97}{100} I_n$$

$$0,83 I_n \leq Tap \leq 1,11 I_n$$

Dipilih $Tap = 0,84 I_n$ (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 84 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^a - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^a - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max bus Cubicle4}}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{2560}{0,84 \times 100} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,74 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,74 \text{ s}$$

Dipilih $T_d = 0,9 \text{ s}$ (*range* 0,1 – 12,5, dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus Cubicle4}}$$

$$1,6 \times 79,26 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1480$$

$$126,82 \leq I_{set} \leq 1184$$

$$\frac{126,82}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{1184}{100} I_n$$

$$1,27 I_n \leq \text{Tap} \leq 11,84 I_n$$

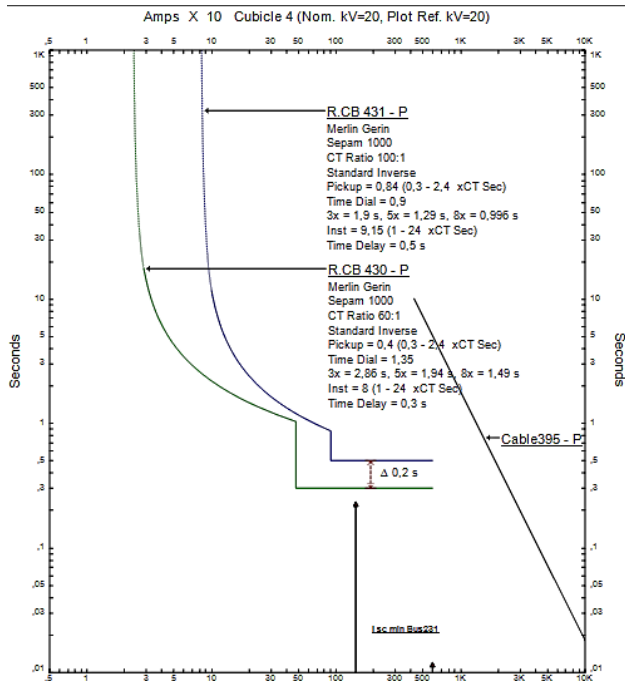
Dipilih Tap = 9,15 I_n (*range* 1 - 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 915 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0,5 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di plot kurva arus waktu kondisi *resetting* tipikal 1b pada *software* simulasi. Hasil dari plot tersebut adalah seperti gambar 4.6 berikut.



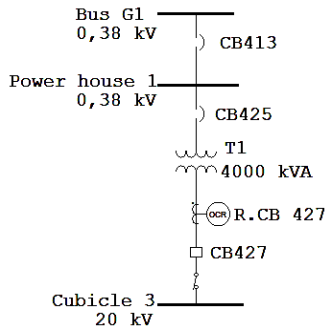
Gambar 4.6 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 1b

Berikut ini keterangan dari plot kurva *resetting* pada gambar 4.6, yaitu :

1. Saat terjadi hubung singkat minimum antar fasa pada Bus231, rele R.CB430 akan bekerja pada waktu instan 0,3 s. Namun apabila rele R.CB430 gagal mengisolasi gangguan tersebut, maka akan di *backup* oleh rele R.CB431 dengan waktu instan 0,5 s.

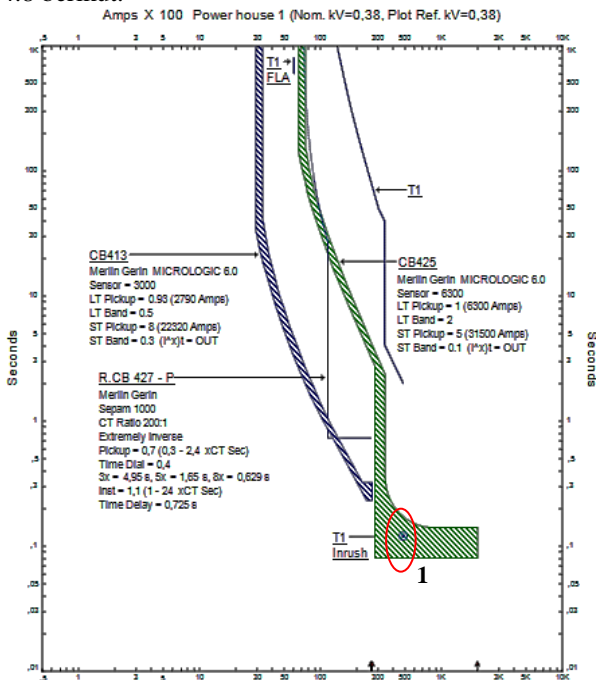
4.4.1.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1c

Pada tipikal 1c terdiri dari satu *high voltage circuit breaker* dan dua *low voltage circuit breaker*. Rele yang akan dikoordinasikan adalah rele R.CB427, rele CB425, dan rele CB413. *Single line diagram* tipikal 1c dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1c

Pada koordinasi rele tipikal 1c masih perlu disempurnakan. Hal tersebut ditandai dengan melihat pada kurva arus waktu *existing* pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 1c

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar 4.8, yaitu :

1. *Setting short time band* rele pengaman pada CB425 terlalu rendah yaitu 0,1 s. Hal tersebut dapat menyebabkan T1 gagal *energized* karena *inrush current* T1 berada di area kurva proteksi CB425.

Dari analisa kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar dapat diperoleh koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ R.CB427

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 200 / 1
Isc min Kont. Sek. T1	: 328 A
Isc max Kont. Sek. T1	: 428 A
<i>FLA</i> Sekunder T1	: 115,5 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Sekunder T1} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ Sekunder T1}$$

$$1,05 \times 115,5 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 115,5$$

$$121,28 \leq I_{set} \leq 161,7$$

$$\frac{121,28}{200} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{161,7}{200} \text{ In}$$

$$0,61 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 0,81 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,61 In (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 122 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,9 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Cubicle3}}}{I_{tap \times CT \text{ primary}}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,9 \times \left[\left(\frac{428}{0,65 \times 200} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,47 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,47 \text{ s}$$

Dipilih $T_d = 0,5 \text{ s}$ (*range* 0,1 – 12,5 dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Sekunder T1} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min Kont. Sek. T1}}$$

$$1,6 \times 115,5 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 328$$

$$184,8 \leq I_{set} \leq 262,4$$

$$\frac{184,8}{200} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{262,4}{200} I_n$$

$$0,93 I_n \leq \text{Tap} \leq 1,31 I_n$$

Dipilih $\text{Tap} = 1,25 I_n$ (*range* 1 - 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 250 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0,9s

☑ CB425

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : MICROLOGIC 6.0

$I_{sc \text{ min Kont. Primer T1}}$: 24380 A

$I_{sc \text{ max Kont. Primer T1}}$: 33950 A

I_{sensor} : 6300

$FLA \text{ Primer T1}$: 6077 A

Long Time Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Primer T1} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ Primer T1}$$

$$1,05 \times 6077 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 6077$$

$$6380,85 \leq I_{set} \leq 8507,8$$

$$I_{set_{LT}} = 6300 \text{ A}$$

$$\text{Long Time (LT) Pickup} = \frac{I_{set_{LT}}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{6300}{6300} = 1$$

Dipilih *LT Pickup* = 1

Dipilih *LT Band* = 0,5 detik

Short Time Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Primer T1} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min Kont. Primer T1}$$

$$1,6 \times 6077 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 24290$$

$$9723,2 \leq I_{set} \leq 19432$$

$$I_{set_{ST}} = 18900 \text{ A}$$

$$\text{Short Time (ST) Pickup} = \frac{I_{set_{ST}}}{I_{set_{LT}}} = \frac{18900}{6300} = 3$$

$$\text{Dipilih ST Pickup} = 3 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0,2 \text{ detik}$$

☑ CB413

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : MICROLOGIC 6.0

Isc min Kont. G1 : 10020 A

Isc max Kont. G1 : 13980 A

I_{sensor} : 3000

FLA G1 : 2660 A

Long Time Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ G1} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ G1}$$

$$1,05 \times 2660 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 2660$$

$$2793 \leq I_{set} \leq 3724$$

$$I_{set_{LT}} = 2800 \text{ A}$$

$$\text{Long Time (LT) Pickup} = \frac{I_{set_{LT}}}{I_{sensor}} = \frac{2800}{3000} = 0,93$$

$$\text{Dipilih LT Pickup} = 0,93$$

$$\text{Dipilih LT Band} = 0,5 \text{ detik}$$

Short Time Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ G1} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min Kont. G1}$$

$$1,6 \times 2660 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 10020$$

$$4256 \leq I_{set} \leq 8016$$

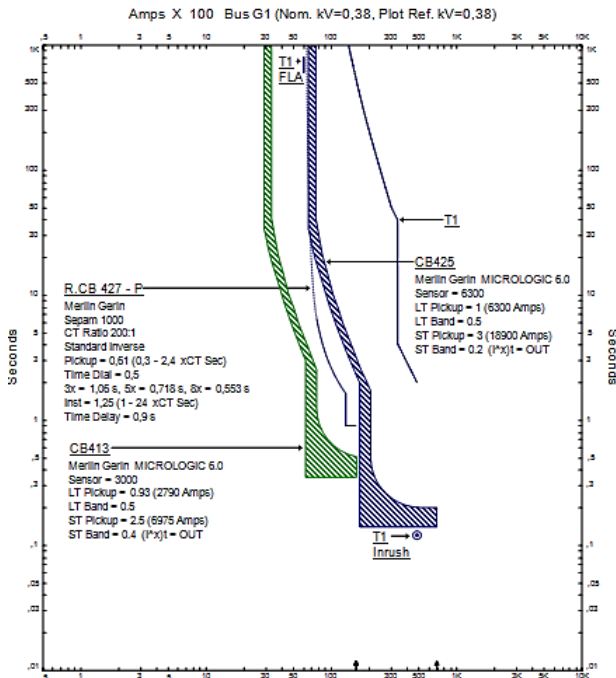
$$I_{set_{ST}} = 6975 \text{ A}$$

$$\text{Short Time (ST) Pickup} = \frac{I_{set_{ST}}}{I_{set_{LT}}} = \frac{6975}{2800} = 2,5$$

$$\text{Dipilih ST Pickup} = 2,5 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0,4 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di plot kurva arus waktu kondisi *resetting* tipikal 1c pada *software* simulasi. Hasil dari plot tersebut adalah seperti gambar 4.9 berikut.



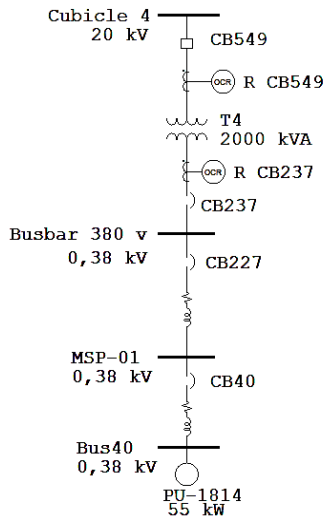
Gambar 4.9 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 1c

Berikut ini keterangan dari plot kurva *resetting* pada gambar 4.9, yaitu :

1. Pada saat T1 pertama kali *energized*, maka akan muncul *inrush current* pada transformator tersebut. Pada kondisi *resetting*, nilai *short time band* sudah dinaikkan menjadi 0,2 s sehingga kurva proteksi CB425 berada di atas *inrush current* T1. Dengan demikian T1 tidak akan mengalami kegagalan *energized*.

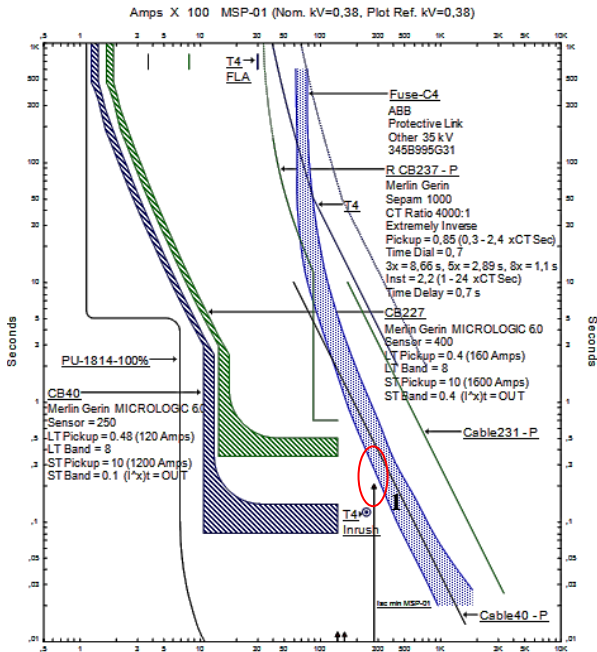
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2

Pada gambar 4.10 adalah gambar tipikal 2 yang terdiri dari tiga rele *low voltage circuit breaker* dan satu rele *high voltage circuit breaker*. Dimana satu dari tiga LVCB tersebut menggunakan rele *eksternal* dan lainnya menggunakan rele *internal*. Rele yang dikoordinasikan pada gambar 4.10 terdiri dari empat rele, yaitu rele CB40, rele CB227, rele R.CB237, dan rele R.CB549.



Gambar 4.10 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2

Pada koordinasi rele tipikal 2 masih perlu disempurnakan. Hal tersebut ditandai dengan melihat pada kurva arus waktu *existing* pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 2

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar 4.11 hasil plotting, yaitu:

1. Apabila terjadi hubung singkat minimum pada bus MSP-01 maka *fuse* pada sisi primer T4 akan bekerja terlebih dahulu. Hal tersebut tidak diperkenankan karena dapat mengakibatkan terjadinya pemadaman yang meluas.

Dari analisa kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang lebih tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ CB40

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: MICROLOGIC 6.0
Isc min Bus40	: 7740 A
I _{sensor}	: 250 A

FLA motor PU-1814 : 114,3 A

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA motor PU-1814} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA motor PU-1814}$$

$$1,05 \times 114,3 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 114,3$$

$$120,01 \leq \text{Iset} \leq 160,02$$

$$\text{Iset}_{LT} = 125 \text{ A}$$

$$\text{Long Time (LT) Pickup} = \frac{\text{Iset}_{LT}}{\text{I}_{\text{sensor}}} = \frac{125}{250} = 0,5$$

$$\text{Dipilih LT Pickup} = 0,5$$

$$\text{Dipilih LT Band} = 8 \text{ detik}$$

Short Time Pickup

$$2 \times \text{FLA motor PU-1814} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc min Bus 40}$$

$$2 \times 114,3 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 7740$$

$$228,6 \leq \text{Iset} \leq 6192$$

$$\text{Iset}_{ST} = 1000 \text{ A}$$

$$\text{Short Time (ST) Pickup} = \frac{\text{Iset}_{ST}}{\text{Iset}_{LT}} = \frac{1000}{125} = 8$$

$$\text{Dipilih ST Pickup} = 8 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0,1 \text{ detik}$$

☑ CB227

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : MICROLOGIC 6.0

Isc min bus MSP-01 : 28220 A

I_{sensor} : 400 A

FLA : 193 A

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 193 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 193$$

$$202,65 \leq \text{Iset} \leq 270,2$$

$$\text{Iset}_{LT} = 212 \text{ A}$$

$$\text{Long Time (LT) Pickup} = \frac{\text{Iset}_{LT}}{\text{I}_{\text{sensor}}} = \frac{212}{400} = 0,53$$

$$\text{Dipilih LT Pickup} = 0,53$$

$$\text{Dipilih LT Band} = 8 \text{ detik}$$

Short Time Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus MSP-01}}$$

$$1,6 \times 193 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 28220$$

$$308,8 \leq I_{set} \leq 22576$$

$$I_{set_{ST}} = 1696 \text{ A}$$

$$\text{Short Time (ST) Pickup} = \frac{I_{set_{ST}}}{I_{set_{LT}}} = \frac{1696}{400} = 8$$

$$\text{Dipilih ST Pickup} = 8 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0,3 \text{ detik}$$

☑ R.CB237

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Curve Type : *Standart Inverse Time*

CT Ratio : 4000 / 1

Isc min Busbar 380v : 34540 A

Isc max Busbar 380v : 47610 A

FLA Sekunder T4 : 3039 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Sekunder T4} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ Sekunder T4}$$

$$1,05 \times 3039 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 3039$$

$$3190,95 \leq I_{set} \leq 4254,6$$

$$\frac{3190,95}{4000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{4254,6}{4000} \text{ In}$$

$$0,8 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1,06 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,8 In (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 3200 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Busbar 380v}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{47610}{0,8 \times 4000} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,59 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,59 \text{ s}$$

Dipilih $T_d = 0,6 \text{ s}$ (range 0,1 – 12,5 dengan step 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Sekunder T4} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min Busbar 380v}$$

$$1,6 \times 3039 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 34540$$

$$4862,4 \leq I_{set} \leq 27632$$

$$\frac{4862,4}{4000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{27632}{4000} I_n$$

$$1,22 I_n \leq \text{Tap} \leq 6,9 I_n$$

Dipilih Tap = 1,5 I_n (range dipilih 1 - 24 dengan step 0,1)

$$I_{set} = 6000 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0,5s

☑ R.CB549

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: Standart Inverse Time
<i>CT Ratio</i>	: 100 / 1
Isc min bus Cubicle4	: 1480 A
Isc max bus Cubicle4	: 2560 A
Isc max Busbar 380v	: 47610 A (0,38kV)
	: 904,59 A (20kV)
<i>FLA Primer T4</i>	: 57,54 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Primer T4} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ Primer T4}$$

$$1,05 \times 57,54 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 57,54$$

$$60,417 \leq I_{set} \leq 80,55$$

$$\frac{60,417}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{80,55}{100} I_n$$

$$0,60 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,80 I_n$$

Dipilih Tap = 0,65 I_n (pickup range 0,3 – 2,4 dengan step 0,05)

$$\text{Nilai Aktual } I_{set} = 65 \text{ A}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{1}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{1}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max bus Cubicle4}}}{I_{tap \times CT \text{ primary}}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{2560}{0,65 \times 100} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,15 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,15 \text{ s}$$

Dipilih $T_d = 0,77 \text{ s}$ (range 0,1 – 12,5, dengan step 0,1)

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \text{ max Busbar } 380V} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus Cubicle4}}$$

$$904,59 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1480$$

$$904,59 \leq I_{set} \leq 1184$$

$$\frac{904,59}{100} I_n \leq I_{tap} \leq \frac{1184}{100} I_n$$

$$9 I_n \leq I_{tap} \leq 11,84 I_n$$

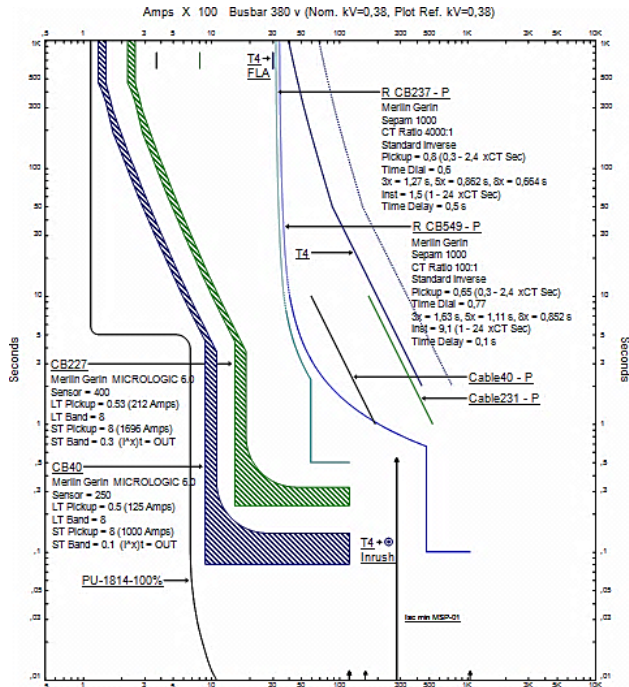
Dipilih $I_{tap} = 9,1 I_n$ (range dipilih 1 - 24 dengan step 0,1)

$$I_{set} = 910 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0,1s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di plot kurva arus waktu kondisi *resetting* tipikal 2 pada *software* simulasi. Hasil dari plot tersebut adalah seperti gambar 4.12 berikut.



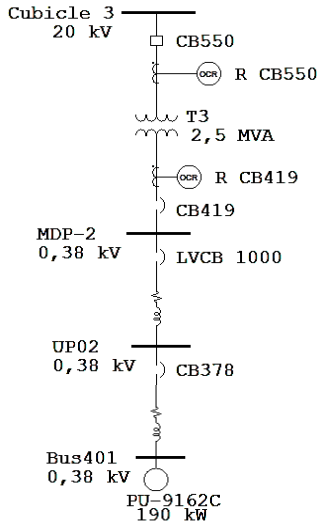
Gambar 4.12 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 2

Berikut ini keterangan dari plot kurva *resetting* pada gambar 4.12, yaitu:

1. Saat terjadi hubung singkat minimum antar fasa pada bus MSP-01, maka rele utama yang bekerja adalah rele CB227 dengan *short time* 0,32 s. Jika rele tersebut gagal, maka di *backup* oleh rele R.CB237 dengan waktu instant 0,5 s sebagai rele *backup* 1 dan rele R.CB549 dengan waktu invers 0,768 s sebagai rele *backup* 2. Hal tersebut menandakan bahwa dengan penggunaan *circuit breaker* dapat meningkatkan *reliability* sistem proteksi kelistrikan pabrik bioetanol.

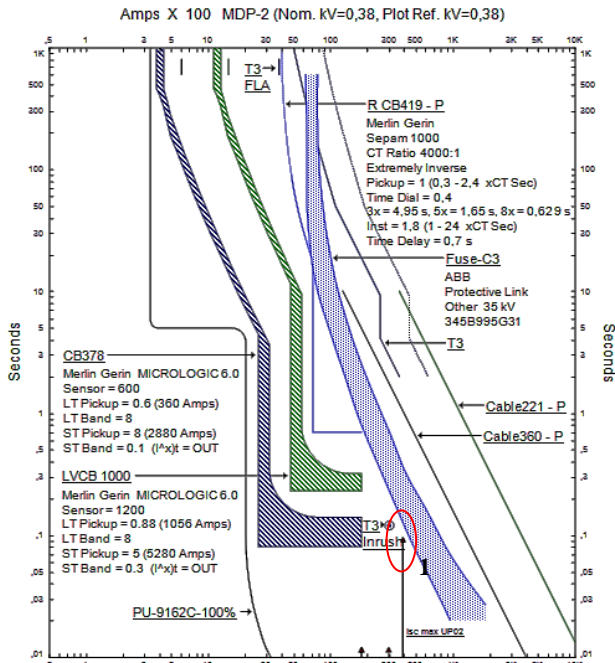
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3

Pada gambar 4.13 adalah gambar tipikal 3 yang terdiri dari tiga rele *low voltage circuit breaker* dan satu rele *high voltage circuit breaker*. Dimana satu dari tiga LVCB tersebut menggunakan rele *eksternal* dan lainnya menggunakan rele *internal*. Rele yang dikoordinasikan pada gambar 4.10 terdiri dari empat rele, yaitu rele CB378, rele LVCB1000, rele R.CB419, dan rele R.CB550.



Gambar 4.13 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3

Pada koordinasi rele tipikal 3 masih perlu disempurnakan. Hal tersebut ditandai dengan melihat pada kurva arus waktu *existing* pada gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 3

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar 4.14 hasil plotting, yaitu:

1. Apabila terjadi hubung singkat maksimum pada bus UP-02 maka *fuse* pada sisi primer T3 akan bekerja terlebih dahulu. Hal tersebut tidak diperkenankan karena dapat mengakibatkan terjadinya pemadaman yang meluas.

Dari analisa kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang lebih tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ CB401

Manufacturer

: Merlin Gerin

Model

: MICROLOGIC 6.0

Isc min Bus401

: 8120 A

I_{sensor} : 600 A
 FLA motor PU-9162C : 338,6 A

Long Time Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA \text{ motor PU-9162C} &\leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times FLA \text{ motor PU-9162C} \\
 1,05 \times 338,6 &\leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times 338,6 \\
 355,53 &\leq I_{\text{set}} \leq 474,04
 \end{aligned}$$

$$I_{\text{set}_{LT}} = 360 \text{ A}$$

$$\text{Long Time (LT) Pickup} = \frac{I_{\text{set}_{LT}}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{I_{\text{set}_{LT}}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{360}{600} = 0,6$$

$$\text{Dipilih LT Pickup} = 0,6$$

$$\text{Dipilih LT Band} = 8 \text{ detik}$$

Short Time Pickup

$$\begin{aligned}
 2 \times FLA \text{ motor PU-9162C} &\leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc min Bus 40}} \\
 2 \times 338,6 &\leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 8120 \\
 677,2 &\leq I_{\text{set}} \leq 6496
 \end{aligned}$$

$$I_{\text{set}_{ST}} = 2880 \text{ A}$$

$$\text{Short Time (ST) Pickup} = \frac{I_{\text{set}_{ST}}}{I_{\text{set}_{LT}}} = \frac{2880}{360} = 8$$

$$\text{Dipilih ST Pickup} = 8 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0,1 \text{ detik}$$

☑ LVCB1000

$Manufacturer$: Merlin Gerin
 $Model$: MICROLOGIC 6.0
 $I_{\text{sc min bus UP02}}$: 27390 A
 I_{sensor} : 1200 A
 FLA : 1035 A

Long Time Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &\leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 1035 &\leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times 1035 \\
 1086,75 &\leq I_{\text{set}} \leq 1449
 \end{aligned}$$

$$I_{\text{set}_{LT}} = 1056 \text{ A}$$

$$\text{Long Time (LT) Pickup} = \frac{I_{\text{set}_{LT}}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{1056}{1200} = 0,88$$

$$\text{Dipilih LT Pickup} = 0,53$$

$$\text{Dipilih LT Band} = 8 \text{ detik}$$

Short Time Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min bus UP02}$$

$$1,6 \times 1035 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 27390$$

$$1656 \leq I_{set} \leq 21912$$

$$I_{set_{ST}} = 4224 \text{ A}$$

$$\text{Short Time (ST) Pickup} = \frac{I_{set_{ST}}}{I_{set_{LT}}} = \frac{4224}{1056} = 4$$

$$\text{Dipilih ST Pickup} = 4 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0,3 \text{ detik}$$

☑ R.CB419

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Curve Type : Standart Inverse Time

CT Ratio : 4000 / 1

Isc min bus MDP2 : 30860 A

Isc max bus MDP2 : 45420 A

FLA Sekunder T3 : 3798 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Sekunder T3} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ Sekunder T3}$$

$$1,05 \times 3798 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 3798$$

$$3987,9 \leq I_{set} \leq 5317,2$$

$$\frac{3987,9}{4000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{5317,2}{4000} \text{ In}$$

$$0,99 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1,32 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1,05 In (pickup range 0,3 – 2,4 dengan step 0,05)

Nilai Aktual Iset = 4200

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ max bus MDP2}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{45420}{1,05 \times 4000} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,40 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,40 \text{ s}$$

Dipilih $T_d = 0,45 \text{ s}$ (*range* 0,1 – 12,5 dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Sekunder } T3 \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min bus MDP2}$$

$$1,6 \times 3798 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 30860$$

$$6076,8 \leq I_{set} \leq 24688$$

$$\frac{6076,8}{4000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{24688}{4000} I_n$$

$$1,52 I_n \leq \text{Tap} \leq 6,17 I_n$$

Dipilih $\text{Tap} = 1,9 I_n$ (*range* dipilih 1 - 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 7600 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0,5s

☑ R.CB550

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Curve Type : *Standart Inverse Time*

CT Ratio : 100 / 1

Isc min bus Cubicle3 : 1480 A

Isc max bus Cubicle3 : 2560 A

Isc max bus MDP2 : 45420 A (0,38kV)

: 862,98 A (20kV)

FLA Primer T3 : 72,17 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Primer } T3 \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ Primer } T3$$

$$1,05 \times 72,17 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 72,17$$

$$75,78 \leq I_{set} \leq 101,03$$

$$\frac{75,78}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{101,03}{100} I_n$$

$$0,76 I_n \leq \text{Tap} \leq 1,01 I_n$$

Dipilih $\text{Tap} = 0,85 I_n$ (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual $I_{set} = 85 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc} \max \text{ bus Cubicle3}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{2560}{0,85 \times 100} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,15 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,15 \text{ s}$$

Dipilih $T_d = 0,65 \text{ s}$ (*range* 0,1 – 12,5, dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$I_{sc} \max \text{ bus MDP2} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \min \text{ bus Cubicle3}$$

$$862,98 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1480$$

$$862,98 \leq I_{set} \leq 1184$$

$$\frac{862,98}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{1184}{100} I_n$$

$$8,6 I_n \leq \text{Tap} \leq 11,84 I_n$$

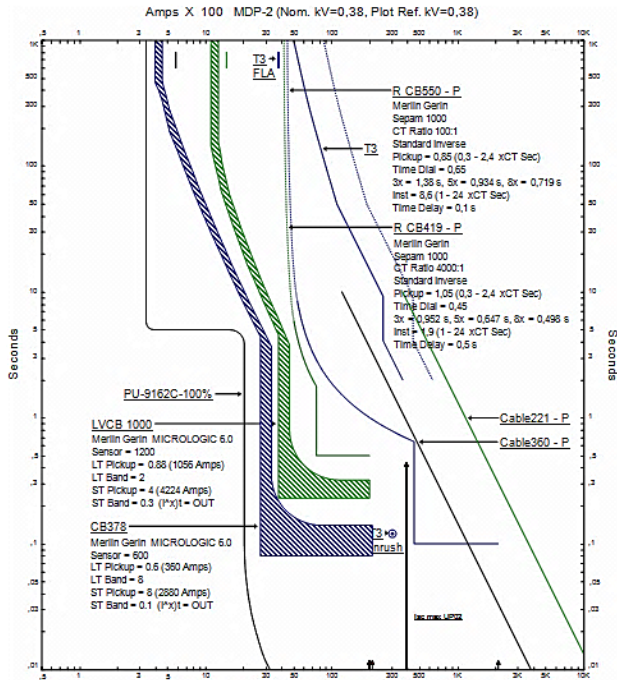
Dipilih $\text{Tap} = 8,6 I_n$ (*range* dipilih 1 - 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 860 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0,1s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di plot kurva arus waktu kondisi *resetting* tipikal 3 pada *software* simulasi. Hasil dari plot tersebut adalah seperti gambar 4.15 berikut.



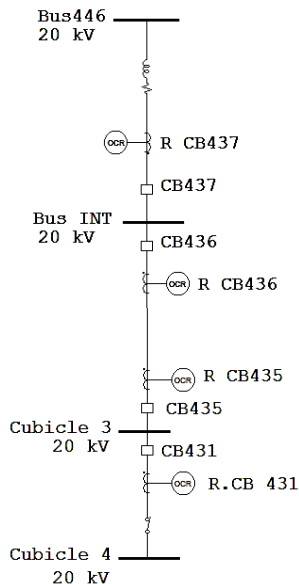
Gambar 4.15 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 3

Berikut ini keterangan dari plot kurva *resetting* pada gambar 4.15, yaitu:

1. Saat terjadi hubung singkat maksimum antar fasa pada bus UP02, maka rele utama yang bekerja adalah rele LVCB1000 dengan *short time* 0,32 s. Jika rele tersebut gagal, maka di *backup* oleh rele R.CB419 dengan waktu instant 0,5 s sebagai rele *backup* 1 dan rele R.CB549 dengan waktu invers 0,78 s sebagai rele *backup* 2. Hal tersebut menandakan bahwa dengan penggunaan *circuit breaker* dapat meningkatkan *reliability* sistem proteksi kelistrikan pabrik bioetanol.

4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4

Pada gambar 4.16 adalah gambar tipikal 4 yang terdiri dari empat rele *high voltage circuit breaker*. Dimana rele R.CB431 dikoordinasikan dengan tiga rele lainnya yang berada di saluran integrasi antara sistem kelistrikan pabrik gula Gempolkrep dengan sistem kelistrikan pabrik bioetanol. Rele pada saluran integrasi ini sebelumnya belum dilakukan perhitungan untuk parameter-parameter *settingnya* . Oleh karena itu, pada tipikal 4 ini langsung dilakukan perhitungan untuk tiga rele yang ada di saluran integrasi. Rele yang dikoordinasikan pada gambar 4.16, yaitu rele R.CB431, rele R.CB435, rele R.CB436, dan rele R.CB437.



Gambar 4.16 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4

Berikut adalah perhitungan koordinasi rele arus lebih fasa untuk tipikal 4, yaitu :

☑ R.CB435 & R.CB436

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 200 / 1

Isc min Kont. TR INT : 1160 A
Isc max Kont. TR INT : 2030 A
FLA : 151,43 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 151,43 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 151,43$$

$$159,00 \leq I_{set} \leq 212,00$$

$$\frac{277,33}{200} I_n \leq Tap \leq \frac{212,00}{200} I_n$$

$$0,79 I_n \leq Tap \leq 1,06 I_n$$

Dipilih Tap = 0,8 In (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 160 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^a - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^a - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Kont. TR INT}}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{2030}{0,76 \times 300} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,65 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,65 \text{ s}$$

Dipilih Td = 0,8 s (*range* 0,1 – 12,5 dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min Kont. TR INT}}$$

$$1,6 \times 151,43 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1160$$

$$242,28 \leq I_{set} \leq 928$$

$$\frac{242,28}{200} I_n \leq Tap \leq \frac{928}{200} I_n$$

$$1,2 I_n \leq Tap \leq 4,64 I_n$$

Dipilih Tap = 3,3 In (*range* 1 - 24 dengan *step* 0,1)

Iset = 990 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,7 s

✓ R.CB 437

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 300 / 1
Isc min BusINT	: 1480 A
Isc max BusINT	: 2560 A
FLA Sekunder TR INT	: 216,5 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Sekunder TR INT} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ Sekunder TR INT}$$

$$1,05 \times 216,5 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 216,5$$

$$227,33 \leq I_{set} \leq 303,1$$

$$\frac{277,33}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{213,34}{300} \text{ In}$$

$$0,76 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1,01 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,76 In (*pickup range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 228 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,9 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right] \times \beta}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ min INT Bus}}}{I_{tap \times CT \text{ primary}}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,9 \times \left[\left(\frac{2580}{(0,76 \times 300)} \right)^{0,02} - 1 \right] \times 2,97}{0,14}$$

$$T_d = 0,95 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0,95 \text{ s}$$

Dipilih T_d = 0,95 s (*range* 0,1 – 12,5, dengan *step* 0,1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Sekunder TR INT} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min BusINT}}$$

$$1,6 \times 216,5 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1480$$

$$346,4 \leq I_{set} \leq 1184$$

$$\frac{346,4}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{1184}{300} \text{ In}$$

$$1,16 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 3,94 \text{ In}$$

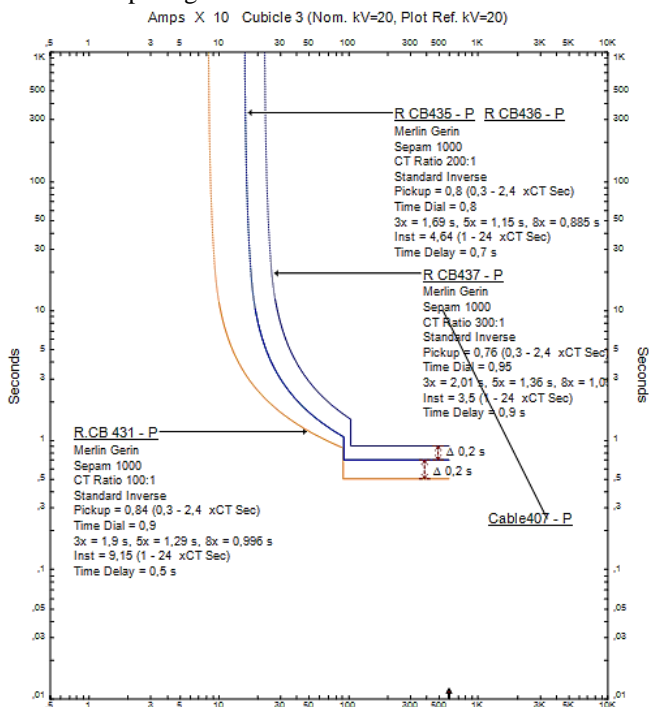
Dipilih Tap = 3,5 In (*range* 1 - 24 dengan *step* 0,1)

Iset = 1050 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,9 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di plot kurva arus waktu tipikal 4 pada *software* simulasi. Hasil dari plot tersebut adalah seperti gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17 Kurva Koordinasi Arus Waktu Tipikal 4

Berikut ini keterangan dari plot kurva pada gambar 4.17, yaitu:

1. Ketiga rele tersebut dikoordinasikan dengan rele R.CB431 yang ada pada tipikal 1b. Pada *setting time delay* rele R.CB431 dipilih 0,5 s sehingga *setting time delay* untuk rele R.CB435 dan rele R.CB436

adalah 0,7 sedangkan untuk rele R.CB437 adalah 0,9 s. Pemilihan *time delay* 0,7 pada rele R.CB435 dan rele R.CB436 karena diharapkan apabila CB431 gagal dalam mengisolir gangguan maka *circuit breaker* yang menjadi *backupnya* adalah *circuit breaker* yang ada pada saluran integrasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

DATA BEBAN PABRIK BIOETANOL PTPN X

Tabel Data Beban Motor Pada Pabrik Bioetanol PTPN X

No	Motor	Bus	Tegangan	kW
1	AG-1501A	MSP-01	0,38 kV	3,7
2	AG-1501B	MSP-01	0,38 kV	3,7
3	PU-1502A	MSP-01	0,38 kV	5,5
4	PU-1502B	MSP-01	0,38 kV	5,5
5	PU-1743	MSP-01	0,38 kV	14,5
6	PU-1751	MSP-01	0,38 kV	3,7
7	PU-1806	MSP-01	0,38 kV	1,1
8	PU-1814	MSP-01	0,38 kV	55
9	AG-1921	MSP-01	0,38 kV	2,2
10	PU-1922	MSP-01	0,38 kV	1,5
11	AG-1931	MSP-01	0,38 kV	1,5
12	PU-1932	MSP-01	0,38 kV	3,7
13	PU-2002	MSP-01	0,38 kV	1,1
14	PU-2043	MSP-01	0,38 kV	1,1
15	PU-2051	MSP-01	0,38 kV	0,9
16	PU-1613	MSP-02	0,38 kV	18,5
17	PU-1614	MSP-02	0,38 kV	5,5
18	PU-1623	MSP-02	0,38 kV	18,5
19	PU-1624	MSP-02	0,38 kV	3,7
20	PU-1633	MSP-02	0,38 kV	18,5
21	PU-1634	MSP-02	0,38 kV	5,5
22	PU-1643	MSP-02	0,38 kV	18,5
23	PU-1644	MSP-02	0,38 kV	5,5
24	PU-1653	MSP-02	0,38 kV	2,1

Tabel Data Beban Motor Pada Pabrik Bioetanol (lanjutan)

No	Motor	Bus	Tegangan	kW
25	PU-1654	MSP-02	0,38 kV	45
26	VP-1654	MSP-02	0,38 kV	45
27	PU-1662	MSP-02	0,38 kV	5,2
28	PU-1682	MSP-02	0,38 kV	11
29	AG-9116A	UP-01	0,38 kV	7,5
30	AG-9116B	UP-01	0,38 kV	7,5
31	AG-9116C	UP-01	0,38 kV	7,5
32	AG-9116D	UP-01	0,38 kV	7,5
33	AG-9116E	UP-01	0,38 kV	7,5
34	AG-9116F	UP-01	0,38 kV	7,5
35	PU-9111A	UP-01	0,38 kV	7,5
36	PU-9111B	UP-01	0,38 kV	7,5
37	PU-9111C	UP-01	0,38 kV	7,5
38	AG-9111	UP-01	0,38 kV	1,1
39	PU-9121A	UP-01	0,38 kV	0,3
40	PU-9121B	UP-01	0,38 kV	0,3
41	AG-9122A	UP-01	0,38 kV	0,3
42	PU-9122B	UP-01	0,38 kV	0,3
43	AG-9114	UP-01	0,38 kV	1,1
44	PU-9114A	UP-01	0,38 kV	11
45	PU-9114B	UP-01	0,38 kV	11
46	PU-9114C	UP-01	0,38 kV	11
47	PU-9123	UP-01	0,38 kV	11
48	PU-9152	UP-01	0,38 kV	11
49	PU-9153	UP-01	0,38 kV	18,5
50	PU-9155	UP-01	0,38 kV	0,3
51	PU-9157	UP-01	0,38 kV	37

Tabel Data Beban Motor Pada Pabrik Bioetanol (lanjutan)

No	Motor	Bus	Tegangan	kW
52	PU-9158	UP-01	0,38 kV	37
53	PU-9159	UP-01	0,38 kV	7,5
54	PU-XXXXA	UP-01	0,38 kV	30
55	PU-XXXXB	UP-01	0,38 kV	30
56	PU-XXXXC	UP-01	0,38 kV	30
57	PU-9402A	UP-01	0,38 kV	3,7
58	PU-9402B	UP-01	0,38 kV	3,7
59	PU-9003	UP-02	0,38 kV	3
60	Control Unit	UP-02	0,38 kV	2
61	PU-9012	UP-02	0,38 kV	3,7
62	PU-9022	UP-02	0,38 kV	5,5
63	PU-9162A	UP-02	0,38 kV	190
64	PU-9162B	UP-02	0,38 kV	190
65	PU-9162C	UP-02	0,38 kV	190
66	PU-9163	UP-02	0,38 kV	5,5
67	PU-9502	UP-02	0,38 kV	5,9
68	AG-9511	UP-02	0,38 kV	15
69	PU-9512	UP-02	0,38 kV	5,1
70	X-9201A	UP-03	0,38 kV	15
71	X-9201B	UP-03	0,38 kV	15
72	X-9201C	UP-03	0,38 kV	15
73	X-9201D	UP-03	0,38 kV	15
74	PU-9302	UP-03	0,38 kV	3,7
75	PU-9312	UP-03	0,38 kV	18,5
76	PU-9322	UP-03	0,38 kV	1,5
77	PU-9332	UP-03	0,38 kV	1,5
78	X-9232A	UP-03	0,38 kV	90

Tabel Data Beban Motor Pada Pabrik Bioetanol (lanjutan)

No	Motor	Bus	Tegangan	kW
79	X-9232B	UP-03	0,38 kV	90
80	X-9232C	UP-03	0,38 kV	90
81	X-9232D	UP-03	0,38 kV	90
82	X-9161A	UP-04	0,38 kV	30
83	X-9161B	UP-04	0,38 kV	30
84	X-9161C	UP-04	0,38 kV	30
85	X-9161D	UP-04	0,38 kV	30
86	X-9161E	UP-04	0,38 kV	30
87	X-9161F	UP-04	0,38 kV	30
88	PU-9172	UP-04	0,38 kV	110
89	X-9161	UP-04	0,38 kV	10
90	PU-9183	UP-04	0,38 kV	1,5
91	PU-9193	UP-04	0,38 kV	55
92	PU-9195	UP-04	0,38 kV	55
93	PU-9603	UP-04	0,38 kV	37
94	PU-9998	UP-04	0,38 kV	30
95	PU-1110	Propagation	0,38 kV	22
96	PU-1120	Propagation	0,38 kV	22
97	AG-1114	Propagation	0,38 kV	0,8
98	AG-1124	Propagation	0,38 kV	0,8
99	PU-1114	Propagation	0,38 kV	3,7
100	PU-1124	Propagation	0,38 kV	3,7
101	PU-1210	Propagation	0,38 kV	18,5
102	PU-1220	Propagation	0,38 kV	18,5
103	PU-1310	Propagation	0,38 kV	37
104	PU-1320	Propagation	0,38 kV	37
105	PU-1330	Propagation	0,38 kV	37

Tabel Data Beban Motor Pada Pabrik Bioetanol (lanjutan)

No	Motor	Bus	Tegangan	kW
106	AG-1310	Propagation	0,38 kV	22
107	AG-1320	Propagation	0,38 kV	22
108	AG-1330	Propagation	0,38 kV	22
109	PU-1340	Fermentation 3	0,38 kV	37
110	PU-1350	Fermentation 3	0,38 kV	37
111	PU-1360	Fermentation 3	0,38 kV	37
112	AG-1340	Fermentation 3	0,38 kV	22
113	AG-1350	Fermentation 3	0,38 kV	22
114	AG-1360	Fermentation 3	0,38 kV	22
115	PU-1371A	Fermentation 3	0,38 kV	30
116	PU-1371B	Fermentation 3	0,38 kV	30
117	PU-1372A	Fermentation 3	0,38 kV	18,5
118	PU-1372B	Fermentation 3	0,38 kV	18,5
119	AG-1410	Fermentation 3	0,38 kV	22
120	AG-1420	Fermentation 3	0,38 kV	22
121	AG-1430	Fermentation 3	0,38 kV	22
122	PU-1440	Fermentation 3	0,38 kV	22
123	PU-1450A	Fermentation 3	0,38 kV	18,5
124	PU-1450B	Fermentation 3	0,38 kV	18,5

Halaman ini sengaja dikosongkan

Tabel Data Beban Statis Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol

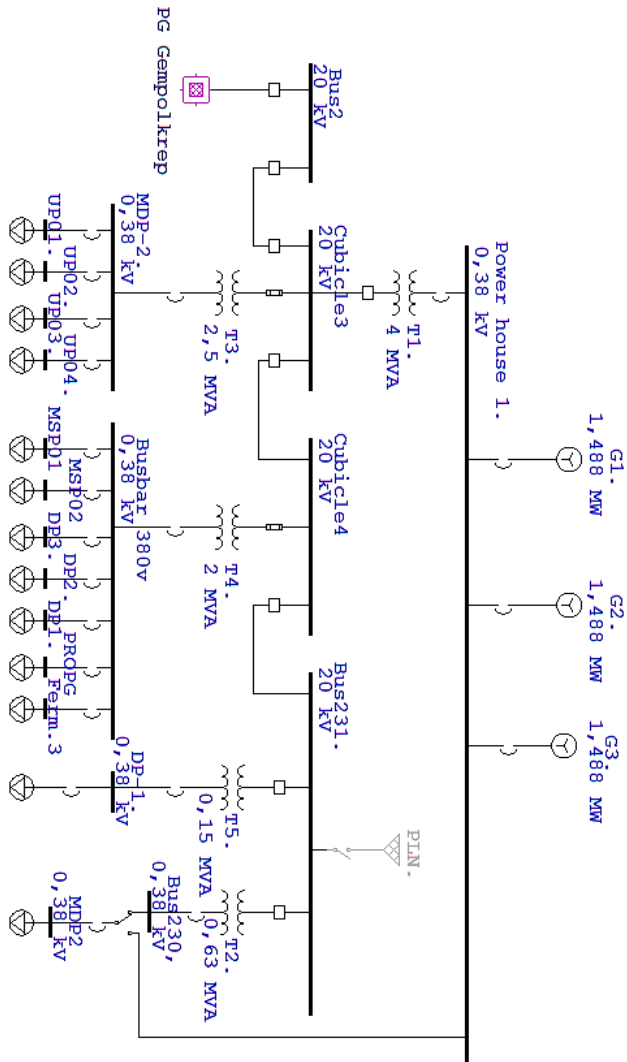
No	Beban	Bus	Tegangan	kVA
1	PRM-CR1	DP3	0,38 kV	9,5
2	PRM-CR2	DP3	0,38 kV	9,5
3	WS-LGH	DP3	0,38 kV	9,5
4	EVAP-CR1	DP3	0,38 kV	6,4
5	EVAP-CR2	DP3	0,38 kV	6,4
6	LAB-LGH	DP2	0,38 kV	2,8
7	LAB-ACR	DP2	0,38 kV	38,5
8	SCR-LGH	DP2	0,38 kV	1,2
9	SCR-ACR	DP2	0,38 kV	4,1
10	WS-LGH1	DP2	0,38 kV	1,7
11	WS-ACR	DP2	0,38 kV	11,7
12	OFC-LMP	DP2	0,38 kV	7,5
13	OFC-ACR	DP2	0,38 kV	11,7
14	CNT	DP2	0,38 kV	1,7
15	LCK-RM	DP2	0,38 kV	1,4
16	IND-SAP	LDP1	0,38 kV	15,8
17	IND-TSK	LDP1	0,38 kV	11,4
18	IND-TSK2	LDP1	0,38 kV	11,4
19	OTD-OTR	LDP1	0,38 kV	7,9
20	IND-AREA	LDP1	0,38 kV	3,9
21	OTD-UT	LDP1	0,38 kV	7,4
22	PI-PRCS	LDP1	0,38 kV	12,5
23	BGS-UNL	DP-1	0,38 kV	21,6
24	BGS-CAR to BGS HS	DP-1	0,38 kV	21,575
25	BGS-REC	DP-1	0,38 kV	11
26	BGS-REC HC	DP-1	0,38 kV	6,5
27	BGS - REC HC CTV	DP-1	0,38 kV	3,9

Tabel Data Beban Statis Sistem Kelistrikan Pabrik Bioetanol (lanjutan)

No	Beban	Bus	Tegangan	kVA
28	BAG-CAR to BOIL 1	DP-1	0,38 kV	17
29	BAG-CAR to BOIL 2	DP-1	0,38 kV	17
30	BAG-CAR to BOIL 3	DP-1	0,38 kV	17
31	BAG-CAR BH1	DP-1	0,38 kV	13,6
32	BAG-CAR BH2	DP-1	0,38 kV	13,6
33	IND-LGH	LDP2	0,38 kV	2,9
34	OTD-LGH	LDP2	0,38 kV	5,8

LAMPIRAN

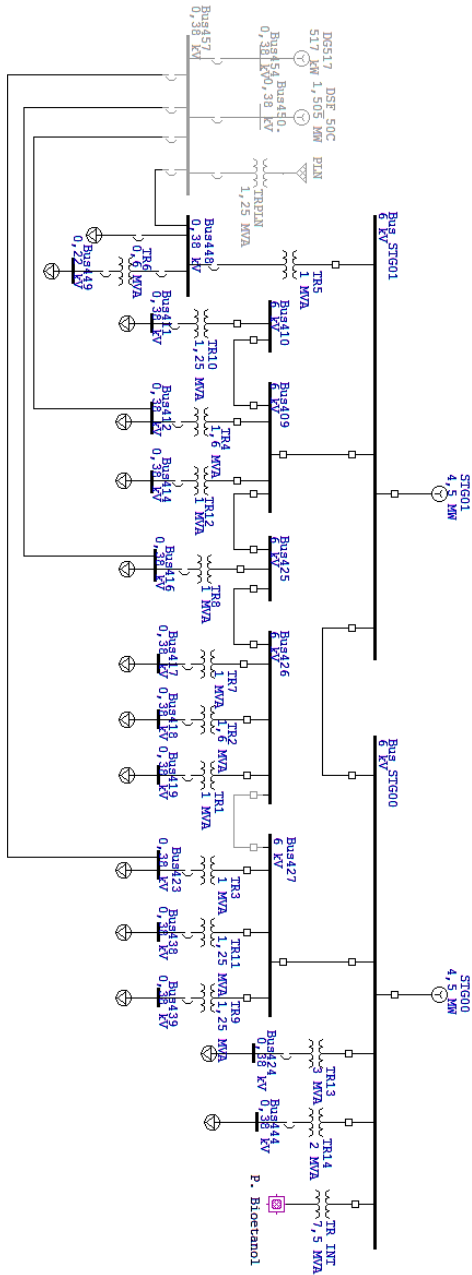
SINGLE LINE DIAGRAM PABRIK BIOETANOL



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

SINGLE LINE DIAGRAM PG GEMPOLKREP



Halaman ini sengaja dikosongkan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan simulasi koordinasi rele pengaman pada sistem kelistrikan pabrik bioetanol PT. PN X, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. *Setting high set* rele R.CB433 *existing* terlalu kecil yaitu 282 A yang menyebabkan tidak terkoordinasi dengan tepat jika terjadi gangguan di bus MDP 4. Pada *resetting* dibuat lebih besar dari nilai arus hubung singkat di bus MDP 4 karena rele R.CB433 difungsikan sebagai waktu invers (rele 51) dengan nilai *setting high set* 390 A.
2. *Grading time* pada rele R.CB430 dan rele R.CB431 *existing* adalah 0 s yang menyebabkan kedua rele tersebut bekerja bersamaan. Pada *resetting* dibuat 0,2 s sesuai dengan perencanaan dan mengacu pada standar IEEE242.
3. *Setting short time band* rele CB425 terlalu rendah yaitu 0,1 s sehingga *inrush current* pada T1 berada di area proteksi rele CB425. Hal tersebut dapat mengakibatkan T1 gagal *energized*. *Setting short time band* pada rele CB425 kondisi *resetting* dibuat menjadi 0,2 s sehingga T1 tidak akan mengalami kegagalan *energized* karena kurva arus waktu rele CB425 berada diatas nilai *inrush current* T1.
4. Peralatan pengaman *existing* (*fuse*) sisi tegangan tinggi pada tipikal 2 dan tipikal 3 digantikan dengan *circuit breaker* disebabkan karena *fuse* tidak dapat dikoordinasikan dengan rele pengaman lainnya. Dalam hal ini rele R.CB549 pada tipikal 2 menggantikan Fuse-C3 dan Rele R.CB550 pada tipikal 3 menggantikan Fuse-C4.
5. Rele R.CB435 pada saluran integrasi di koordinasikan dengan rele R.CB431 dengan maksud apabila CB431 gagal dalam mengisolasi gangguan maka *circuit breaker* yang menjadi *backupnya* adalah *circuit breaker* yang ada pada saluran integrasi. *Setting time delay* rele R.CB431 adalah 0,5 s sehingga *setting time delay* untuk rele R.CB435 dibuat 0,7 s.

5.2 Saran

Berdasarkan pada pembahasan dan kesimpulan, maka ada beberapa hal yang dapat menjadi saran, yaitu:

1. Fungsi *fuse* sebagai pengaman sisi primer T3 bus *Cucicle* 3 dan sisi primer T4 bus *Cucicle* 4 sebaiknya digantikan dengan *circuit breaker* yang dapat meningkatkan keandalan dan efisiensi dari pabrik bioetanol.
2. Pada tugas akhir ini tidak mempertimbangkan *arc flash* dalam koordinasi proteksi sistem kelistrikan pabrik bioetanol. Untuk studi selanjutnya dapat dilakukan pengembangan dengan pertimbangan *arc flash* sehingga dapat meningkatkan standar *safety* pada pekerja yang bekerja di bagian kelistrikan.
3. Parameter-parameter *setting* rele pengaman yang diperoleh dari hasil analisa dan perhitungan dapat dijadikan bahan pertimbangan dan referensi dalam melakukan *setting* rele pengaman pada pabrik bioetanol akibat integrasi dengan pabrik gula Gempolkrep.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2004
- [2] Lazar, Irwin, “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch. 1, 1980
- [3] Soeprijanto, Adi, “*Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*”, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [4] Prév  , Christophe, “*Protection of Electrical Networks*”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
- [5] Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga, “*Modul Pelatihan Koordinasi Pengaman*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2014
- [6] Instruction Manual “*Protection and Control Sepam 1000*”, Schneider Electric, 1998
- [7] IEEE Std 242-2001TM, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [8] Nugroho, Rahmad Cahyo, “*Studi Koordinasi Rele Pengaman Sistem Tenaga Listrik di Pabrik Bio Etanol PT. Perkebunan Nusantara X Mojokerto*”, Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, 2014.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Diky Tri Wahyono, lahir pada tanggal 23 Desember 1990 di Pamekasan – Jawa Timur sebagai anak ketiga dari lima bersaudara. Setelah menempuh pendidikan formal di SDN Bugih 3 Pamekasan, SMPN 2 Pamekasan, dan SMUN 1 Pamekasan di tempat kelahiran, penulis melanjutkan pendidikan tinggi D3 Teknik Elektronika di Politeknik Negeri Malang pada tahun 2009 selama 3 tahun. Setelah lulus dari Diploma 3, penulis bekerja di perusahaan swasta selama \pm 1,5 tahun. Pada tahun 2014, penulis memutuskan fokus untuk melanjutkan pendidikan Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya melalui Program Lintas Jalur Teknik Elektro dan fokus pada konsentrasi Sistem Tenaga Listrik.